Maxwell

—

RUCH

557

MATERYA I RUCH.

MATERYA I RUCH

PRZEZ

J. CLERK'A MAXWELL'A

przekład

S. Dicksteina.

WARSZAWA.
GEBETHNER I WOLFF.

1879.

ДОЗВОЛЕНО ЦЕНЗУРОЮ.

Варшава. 28 Іюля 1879 года.

Warszawa. — Druk S. Orgelbranda Synów, Bednarska Nr. 20.

TREŚĆ.

ROZDZIAŁ VI.

ROZDZIAŁ VII.

ROZDZIAŁ VIII.

SPROSTOWANIA.

				zamiast	powinno być
Str.	5	wiersz	15 od dołu	porządkn	porządku
„	11	„	13 „	gdy	Gdy
„	39	„	12 od góry	bliskości	blizkości
„	47	„	6 „	opbudzenia	pobudzenia
„	50	„	13 „	odległości	z odległości
„	55	„	6 „	o.a. A	oa. A
„	63	„	1 „	(układ	układ
„	65	„	13 od dołu	pedniesienie	podniesienie
„	66	„	7 „	wydatkować	i wydatkować
„	72	„	7 od góry	T	T_B
„	83	„	8 od dołu	. Ponieważ	, ponieważ
„	90	„	14 od góry	wartośc	wartości
„	96	„	3 „	wskazówek	skazówek
„	100	„	11 „	Materya	Materyą
„	111	„	15 „	długośc	długości

W paragrafie 120 nie pomieszczono fig. 12 służącéj do jego objaśnienia. Figurę tę podajemy obecnie.

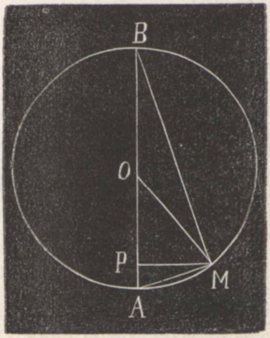

Fig. 12.

SŁÓWKO OD TŁÓMACZA.

Nie tylko zajmujący się fizyką, ale każdy wykształcony człowiek, chcący zrozumiéć dzisiejsze teorye fizyczne, powinien przedewszystkiém poznać zasady mechaniki, stanowiącéj podstawę wszystkich nauk fizycznych. Do téj pory nie było, o ile mi wiadomo, w literaturze europejskiéj istotnie elementarnéj książki, któraby w sposób jasny i ścisły, pozwalała czytelnikom obeznanym tylko z początkami matematyki, poznać zasady nowszéj dynamiki. Niniejsza praca znakomitego na polu nauk fizycznych badacza zaradza téj ważnéj potrzebie. Autor w sposób prawdziwie mistrzowski wykłada zupełnie elementarnie najważniejsze zasady mechaniki, i z niezmierną łatwością, nieznacznie prawie, wprowadza czytelnika do dalszych dziedzin nauki. Na małéj stosunkowo przestrzeni udziela Clerk Maxwell tyle gruntownéj i pociągającéj wiedzy, popiéra twierdzenia swoje tyloma pięknemi uwagami i zastosowaniami, że czytelnik ujęty powabem wykładu, z zadowoleniem wnika wraz z autorem głębiéj w treść nauki. Zdaniem Taita i specyalista fizyk z czytania téj pracy istotny odnosi pożytek.

Oddanie zalet tak niepospolitego wykładu było połączoném z trudnościami, zwłaszcza że i spolszczenie niektórych wyrazów oznaczających nowe pojęcia było niełatwém. (*) Wiem, że trudności te niezawsze udało mi się szczęśliwie pokonać, że przekład nie dorówna oryginałowi. Sądzę jednak, że pomimo to, może on nie być zupełnie bezpożytecznym z powodu braku dziełek podobnego rodzaju w naszéj literaturze. Ten to wzgląd głównie ośmielił mnie do podjęcia przekładu znakomitéj książeczki, należącéj do szeregu podręczników elementarnéj nauki wydawanych przez „Society for Promoting Christian Knowledge" w Londynie.

(*) Do takich wyrazów należą między innemi: stress, mass-vector, mass-area.

PRZEDMOWA.

Fizyka aż do końca ośmnastego stulecia była zajętą wyjaśnieniem zjawisk przyrody, jako skutków sił działających między ciałami; dziś, wstąpiwszy na wyższy stopień rozwoju, uważa dzielność (energy) układu mechanicznego za zupełnie oznaczoną przez jego konfiguracyę i ruch, przytem uogólnia pojęcia konfiguracyi, ruchu i siły, do możliwych granic, o ile na to pozwalają fizykalne określenia tych pojęć.

Dokładne zapoznanie się z temi pojęciami zasadniczemi, rozpatrzenie ich z najrozmaitszych punktów widzenia, związanie biegu myśli ze ścisłością metody dynamicznéj—powinno być dążeniem każdego, zajmującego się nauką fizyki

Poniższe przedstawienie głównych wiadomości o materyi i ruchu należy przeto uważać jako wstęp do nauki fizyki w ogólności.

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

WSTĘP.

1. *Istota fizyki.*

Fizyka jest częścią wiedzy, która się odnosi do porządknęw przyrodzie, albo innemi słowy, do prawidłowego następstwa zjawisk.

Nazwisko *fizyki* stosują jednak z większém lub mniejszém ograniczeniem do tych dziedzin wiedzy, w któréj uważane zjawiska są natury nadzwyczaj prostéj i abstrakcyjnéj, z wyłączeniem wszystkich zjawisk, bardziéj złożonych, np. takich, jakie odbywają się w istotach żyjących.

Najprostszym ze wszystkich jest przypadek, w którym zjawisko może być opisaném, jako zmiana wzajemnego położenia ciał oznaczonych. Tak np. ruch księżyca daje się opisać przez podanie różnych jego położeń względem ziemi w następstwie, w jakiém one istotnie idą po sobie.

W innych przypadkach możemy wprawdzie wiedzieć, że nastąpiła jakaś zmiana położenia, ale nie jesteśmy w stanie wykazać, na czém ta zmiana polega. Przy zamarzaniu np. wody wiemy, że cząsteczki (molekuły) czyli najmniejsze części materyi inaczéj muszą być rozmieszczonemi w lodzie, aniżeli w wodzie. Wiemy także, że rozmieszczeniu ich w lodzie towarzyszy pewnego rodzaju symetrya, gdyż lód pojawia się w postaci prawidłowych kryształów, ale nie mamy dotąd dokładnéj znajomości istotnego rozmieszczenia cząsteczek w lodzie. Gdy jednak w pewnym uważanym przypadku jesteśmy w stanie wykazać, jakie zmiany położenia miały miejsce, wtedy w zakresie dziedziny tych zmian mamy zupełną znajomość tego, co nastąpiło; lubo jest rzeczą możliwą, że nic nie wiemy o warunkach, przy których uważane zjawisko nieodzownie zawsze nastąpić musi.

Odpowiednio do tego, pierwsza część fizyki zajmuje się wzajemném położeniem i ruchem ciał.

2. *Określenie układu materyalnego.*

W każdém naukowém postępowaniu rozpoczynamy od odgraniczenia pewnéj dziedziny albo przedmiotu dla naszych badań. Na tę dziedzinę musimy zwrócić naszą uwagę, pozostawiając bez uwagi wszystkie pozostałe części wszechświata, dopóki nie ukończymy przedsięwziętego badania. W fizyce przeto pierwszy krok, jaki zrobić winniśmy, jest wyraźne określenie układu materyalnego, stanowiącego przedmiot naszego badania. Ten układ materyalny może być dowolnie złożonym (skomplikowanym). Może się składać z jednego pojedyńczego punktu materyalnego, albo z jednego ciała, mającego wielkość skończoną, albo z pewnéj liczby takich ciał; może wreszcie być rozszerzonym tak dalece, że obejmie w sobie wszechświat cały.

3. *Określenia pojęć „wewnątrz“ i „zewnątrz.“*

Wszystkie związki albo działania między dwiema częściami takiego układu, nazywają się związkami albo działaniami *wewnętrznemi*.

Wszystkie związki albo działania między całym układem, lub jego częścią, a ciałami do układu tego nie należącemi nazywają się *zewnętrznemi*. Te ostatnie badamy tylko o tyle, o ile wpływają na nasz układ, nie zajmując się wcale badaniem ich wpływu na ciała zewnętrzne. Związków i działań między ciałami znajdującemi się zewnątrz układu, nie rozpatrujemy wcale. Nie możemy ich wprowadzać do naszego badania, chyba, że układ nasz tak rozszerzamy, że obejmuje w sobie i te inne ciała.

4. *Określenie konfiguracyi.*

Jeżeli uważamy układ materyalny pod względem wzajemnego położenia jego części, to zbiór wszystkich względnych położeń nazywa się *konfiguracyą* układu.

Znajomość konfiguracyi układu w danéj chwili zawiéra w sobie znajomość chwilowego położenia każdego punktu względem każdego innego punktu tegoż układu.

5. *Diagramy.*

Konfiguracya układów materyalnych daje się przedstawić za pomocą modeli, planów lub diagramów. O modelu lub diagramie przypuszcza się tylko, że ma tę samą formę, co układ materyalny, przy czém nie jest rzeczą konieczną, aby miał jeszcze coś z nim wspólnego, Plan albo karta przedstawia na papierze, a więc w dwóch wymiarach to, co w rzeczywistości może mieć trzy wymiary, co zatém całkowicie może być przedstawionem tylko przez model. Używać będziemy wyrażenia *diagram* dla oznaczenia figury geometrycznéj, płaskiéj lub nie, przy pomocy któréj rozpatrujemy własności układu materyalnego. Gdy więc mówić będziemy o konfiguracyi układu, to trzeba będzie przy tém utworzyć sobie wyobrażenie diagramu, który całkowicie odtwarza tę konfiguracyę, a zresztą nie posiada żadnéj z własności układu materyalnego. Oprócz diagramów konfiguracyi są jeszcze diagramy prędkości, działania dynamicznego i t. p., przy pomocy których przedstawiają się wzajemne prędkości części układu lub jego siły wewnętrzne.

6. *Cząstka materyalna.*

Ciało, które jest tak małém, że *dla celów naszego badania* można w niém nie zważać na odległości pojedyńczych jego części, nazywa się cząstką materyalną (partykułą).

Tak np. przy pewnych badaniach astronomicznych, planety i słońce nawet, uważać można za cząstki materyalne, kiedy różnica w działaniu oddzielnych części tych ciał może być pominiętą. Gdy jednak badamy obroty tych ciał około własnych ich osi, nie możemy już ich wtedy uważać za cząstki materyalne. Atom nawet musi być uważanym za zbiór wielu cząstek materyalnych, gdy przypuszczamy o nim, że może obracać się około swojéj osi.

Diagramem cząstki materyalnéj jest oczywiście punkt matematyczny, który, jako taki, nie ma konfiguracyi.

7. *Położenie względne dwóch cząstek materyalnych.*

Diagram dwóch cząstek materyalnych składa się z dwóch punktów matematycznych np. z punktu A i z punktu B.

Położenie cząstki B względem cząstki A jest daném przez kierunek i długość prostéj AB przeprowadzonéj *od A do B*. Wychodząc z A i poruszając się w kierunku wskazanym przez prostą AB wzdłuż odcinka, którego długość jest równą téj prostéj, dojdziemy do B. Ten kierunek i ten odcinek daje się również dobrze wyrazić inną prostą *ab* równą i równoległą do prostéj AB. Położenie A względem B jest daném przez kierunek i długość prostéj BA przeprowadzonéj od B do A, albo przez prostą *ba* równą i równoległą do prostéj BA. Jest rzeczą jasną, że BA = —AB.

Jeżeli nazwiemy prostą za pomocą głosek umieszczonych w jéj końcach, to porządek głosek wskazuje, z którego końca zaczęliśmy tę prostą prowadzić.

8. *Wodzące.*

Wyrażenie AB w znaczeniu geometryczném jest tylko nazwiskiem prostéj. Tu jednak oznacza ono *działanie*, przy pomocy którego prosta została poprowadzoną; mianowicie oznacza przeprowadzanie punktu opisującego w kierunku oznaczonym wzdłuż oznaczonego odcinka.

W znaczeniu działania, AB nazywa się wodzącą (vector), a samo działanie jest zupełnie oznaczoném przez kierunek i odcinek. Punkt wyjścia, który nazywamy początkiem wodzącéj, może być dowolnie wybranym.

Dla oznaczenia prostéj, musimy znać jéj punkt początkowy, kierunek i długość; przeciwnie wodzące różniące się od siebie tylko początkiem, a więc równoległe (i skierowane w jedną stronę), i mające równą długość, mogą być uważane za równe.

Każda wielkość, jak np. prędkość lub siła, mająca oznaczony kierunek i oznaczoną wartość, może być uważaną za wodzącą i przedstawianą w diagramie przez prostą równoległą do wodzącéj, o długości przedstawiającéj długość téj ostatniéj wedle przyjętéj skali.

9. *Układ trzech cząstek.*

Rozpatrzmy najprzód układ złożony z trzech cząstek. Konfiguracya jegó przedstawia się za pomocą diagramu składającego się z trzech punktów A, B, C.

Położenie B względem A przedstawia wodząca AB, a położenie C względem A—wodząca AC.

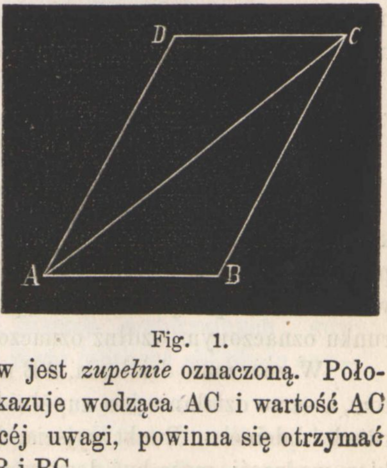

Fig. 1.

Jest rzeczą jasną, że przy pomocy tych danych (obu wodzących), gdy A jest wiadomém, znajdziemy B i C, tak, że przez to konfiguracya trzech punktów jest *zupełnie* oznaczoną. Położenie C względem A wskazuje wodząca AC i wartość AC na zasadzie poprzedzającéj uwagi, powinna się otrzymać z wartości wodzących AB i BC.

Rezultatem działania AC jest to, że punkt opisujący zostaje przeprowadzonym od A do C. Ale rezultat ten się nie zmienia, jeżeli punkt opisujący przechodzi najprzód z A do B, a potém z B do C, co stanowi summę działań AB i BC.

10. *Dodawanie wodzących.*

Ztąd wynika następujące prawidło dodawania wodzących. Z pewnego punktu, jako z początku, prowadzimy pierwszą wodzącą, następnie drugą z punktu, w którym kończy się pierwsza, potém trzecią z punktu, w którym kończy się druga i tak dalej następujące wodzące w ten sposób, aby każda następna tam się rozpoczynała, gdzie poprzednia się kończy. Prosta, łącząca początek tego szeregu z jego końcem, przedstawia wodzącą, która jest summą danych wodzących.

Porządek dodawania jest dowolnym, gdy zamiast AB+BC napiszemy BC+AB, to wskazane działanie może być uskutecznione przez to, że prowadzimy AD równoległą i równą BC; wtedy prosta DC, według znanego twierdzenia Euklidesa, będzie równą i równoległą do AB, tak, że przy pomocy dwóch działań (AB i BC) dochodzimy do punktu C niezależnie od następstwa, w jakiém działania te uskuteczniamy. Twierdzenie to ma miejsce dla dowolnéj liczby wodzących, przy dodawaniu ich przeto można porządek zmieniać dowolnie.

11. *Odejmowanie wodzących.*

Aby wyrazić położenie punktu C względem punktu B przez położenia B i C względem A, zauważmy, że od

B do C możemy przejść albo po prostéj BC, albo téż idąc od B do A, a następnie od A do C. Przeto:

$$BC = BA + AC$$
$$= AC + BA,$$ gdyż porządek dodawania jest dowolnym, i następnie
$$= AC - AB,$$ gdyż $AB = - BA$.

A zatém wodzącą BC, wyrażającą położenie punktu C względem punktu B znajdujemy, skoro wodzącą punktu B odejmiemy od wodzącéj punktu C, przyczém obie wodzące należy prowadzić do B i C z jakiegokolwiek wspólnego początku A.

12. *Początek wodzących.*

Położenia dowolnéj liczby cząstek, należących do układu materyalnego, dają się oznaczyć za pomocą wodzących, poprowadzonych do każdéj cząstki z jakiegokolwiek punktu. Punkt ten nazywa się początkiem wodzących albo wprost początkiem.

Ten układ wodzących wyraża konfiguracyę całego układu materyalnego; możemy bowiem poznać położenie jakiegokolwiek punktu B względem innego punktu A, przy pomocy wodzących OA i OB zadość czyniących równaniu $AB = OB - OA$. Za początek możemy wziąść każdy punkt dowolny i nie ma z góry żadnego oznaczonego powodu, dla któregobyśmy jeden z nich przełożyli nad inny. Konfiguracya układu, t. j. położenie wzajemne jego części pozostaje bez zmiany przy każdéj zmianie początku. Ale wiele badań daje się uprościć przez odpowiedni jego wybór.

13. *Względne położenie dwóch układów.*

Gdy znanemi są konfiguracye dwóch różnych układów materyalnych, z których każdy ma swój własny począték, i gdy chcemy oba układy złożyć w jeden większy o tym samym początku, co pierwszy z dwóch danycb układów, to musi być dane położenie początku drugiego układu względem początku pierwszego układu i musi być rzeczą możliwą prowadzenie w drugim układzie prostych równoległych do prostych w drugim układzie.

Wtedy wedle ustępu 9 położenie punktu P drugiego układu względem pierwszego początku O jest dane jako summa wodzącéj O'P tego punktu względem drugiego początku O' i wodzącéj OO' drugiego początku względem pierwszego O.

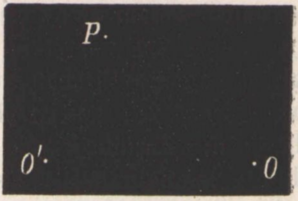

Fig. 2.

14. Trzy dane dla porównania dwóch układów.

Przykład tworzenia wielkiego układu z dwóch lub większéj liczby małych mamy wtedy, gdy dwa sąsiednie państwa, z których każde wymierzyło i przeniosło na kartę swoje terrytoryum, zechcą połączyć pomiary swoje w ten sposób, aby oba kraje utworzyły jeden układ. Do tego celu koniecznemi są trzy rzeczy:

1. Porównanie początku pomiarów wybranego przez jedno państwo, z początkiem pomiarów wybranym przez drugie.

2. Porównanie kierunków głównych, do których odnoszą się pomiary w obu krajach.

3. Porównanie jednostek długości używanych w obu państwach.

Co do 1-go. W krajach cywilizowanych szerokość liczy się zawsze od równika, długość zaś od dowolnie przyjętego punktu, np. od Greenwich lub od Paryża. Przeto, dla przystosowania np. karty Anglii do karty Francyi, trzeba znać różnicę długości geograficznéj między obserwatoryami w Greenwich i w Paryżu.

Co do 2-go. Jeżeli pomiar odbywa się bez narzędzi astronomicznych, wtedy kierunki główne, do których mają być odniesione wszystkie inne, oznacza się za pomocą igiełki magnesowéj kompasu. Tak było, jeżeli się nie mylę, przy pierwszych pomiarach niektórych wysp Indyj Zachodnich. Rezultaty tych pomiarów dały wprawdzie dokładną konfiguracyę miejscowości wyspy, ale nie mogły być przystosowanemi do ogólnéj karty ziemi, dopóki nie oznaczono, jak wielkie było podówczas zboczenie igiełki magnesowéj od prawdziwéj północy.

Co do 3-go. Dla możności porównania pomiarów Francyi z pomiarami Anglii należy porównać jednostkę długości używaną we Francyi, t. j. metr, z jednostką długości używaną w Anglii, t. j. z yardem.

Yard został określony aktem parlamentu z d. 30 lipca 1855 w ten sposób: „że linia prosta albo odległość między środkami linii poprzecznych na dwóch złotych gwoździkach na sztabie bronzowéj znajdującéj się w skarbcu, przy 62° Fahrenheita, ma być rzeczywistym yardem i gdy zaginie, ma być odtworzony podług kopij.“

Metr zawdzięcza swoją powagę prawu wydanemu w r. 1795 przez rzeczpospolitą francuzką. Określa się on jako odległość między dwoma końcami sztaby platynowéj, którą przygotował B o r d a, gdy ta ma temperaturę topniejącego lodu. Kapitan C l a r k e znalazł za pomocą wymiarów, że metr równa się 39,37043 cal. angielsk.

15. *O pojęciu przestrzeni.*

Mówiliśmy dotąd o wielu rzeczach mających związek z konfiguracyą układu materyalnego. Pozostają jeszcze niektóre punkta należące do metafizyki przedmiotu, a posiadające ważne dla fizyki znaczenie.

Opisaną została metoda służąca do kombinacyi kilku konfiguracyj w jeden układ, który je zawiéra wszystkie. W ten sposób do małéj dziedziny, którą możemy wybadać, wyciągnąwszy nasze kończyny, przyłączamy przedmioty odleglejsze, do których dosięgamy, idąc lub jadąc. Do tych przydajemy znowu te, o których dowiadujemy się ze sprawozdań innych osób i te też niedostępne dziedziny, których położenie możemy oznaczyć jedynie przy pomocy rachunku; aż nakoniec poznajemy, że każde miejsce przez wzgląd na każde inne, ma oznaczone położenie, niezależnie od tego, czy z jednego miejsca możemy dojść do drugiego, czy też nie.

W ten sposób z pomiarów na powierzchni ziemi robionych wyprowadzamy, jakie jest położenie jéj środka względem przedmiotów znanych i obliczamy liczbę mil sześciennych zawartych w objętości ziemi, zupełnie niezależnie od hypotezy o tém, co się mieści w jéj środku, albo w jakiém innėm miejscu pod cienką warstwą jéj skorupy, stanowiącéj jedyny przedmiot podległy naszemu bezpośredniemu badaniu.

16. *Błąd Descartes'a.*

Według tego jest rzeczą jasną, że odległość między dwiema rzeczami nie zależy od rzeczy znajdującéj się pomiędzy niemi. Descartes zdaje się przypuszczać taką zależność (Princip. Phil. II, 18), gdy mówi, że gdyby to, co się znajduje we wnętrzu pustego naczynia zostało wyjętém, a w miejsce jego nic nie weszło, to wtedy ściany naczynia, między któremi nicby już nie było, musiałyby się zetknąć.

To twierdzenie opiéra się na dogmacie Descartes'a, według którego rozciągłość w kierunku długości, szerokości i głębokości stanowiąca przestrzeń, jest jedyną istotną własnością materyi. „Natura materyi, mówi on, albo ciało w ogólności, polega nie na twardości, ciężkości, zabarwieniu i t. p., a na tém, że rozciąga się ono w długość, szerokość i głębokość" (Princip. II, 4). W ten sposób pomięszawszy własności materyi z własnościami przestrzeni, dochodzi Descartes logicznie do wniosku, że gdyby wszystką materyę wyjąć z naczynia, to i przestrzeń sama przestałaby w niém istnieć. Przyjmuje on, że wszelka przestrzeń musi być wypełniona materyą.

Przytoczyłem tu pogląd Descartes'a, aby wykazać, jak ważném jest głębsze wniknięcie w elementa dynamiki. W sposób zupełnie jasny wykłada Descartes własność główną materyi w swém „Pierwszém prawie natury" (Princip. II. 37); każda rzecz pojedyńcza, o ile jest w sobie, trwa w swym stanie, czy to będzie stan spoczynku, czy ruchu. Przy wykładzie Newtonowskich praw ruchu zobaczymy, że wyrazami: „o ile jest w sobie" wyrażona jest istotna własność główna materyi i istotna miara jéj ilości. Descartes nie doszedł jednak nigdy do zupełnego pojmowania własnych słów (quantum in se est) i wpadł w skutek tego w błąd, pomięszawszy materyę i przestrzeń—według niego bowiem przestrzeń jest jedynie możliwą formą materyi, a wszystkie istniejące rzeczy są po prostu stanami przestrzeni. Błąd ten powtarza się we wszystkich częściach wielkiego dzieła Descartes'a i stanowi jedną z ostatnich podstaw systemu Spinozy. Nie mogę tu zająć się śledzeniem tego błędu w pracach, które pojawiły się już w czasach bardziéj do nas zbliżonych, ale mógłbym polecić każdemu, kto studyuje jakiś systemat metafizyczny, aby starannie wypróbował tę część jego, która zajmuje się pojęciami fizykalnemi.

W interesie postępu uważamy za rzecz niezbędną oddzielić, wraz z Newtonem, pojęcia czasu i przestrzeni od pojęcia układu materyalnego, którego różne stany przy pomocy tych dwóch pojęć zostają wprowadzone w związek wzajemny.

17. *O pojęciu czasu.*

Pojęcie czasu w jego pierwotnéj formie jest prawdopodobnie tylko świadomością następstwa stanów naszéj samowiedzy. Gdyby moja pamięć była doskonałą, wtedy mógłbym podać wszystkie zdarzenia wewnątrz zakresu mego doświadczenia leżące, w ich istotném następstwie chronologiczném. Ale byłoby rzeczą trudną, jeżeli i nie niemożliwą, porównanie przedziału czasu między jedną parą zdarzeń z przedziałem czasu między inną parą, np. oznaczenie, czy czas, w ciągu którego mogę pracować bez zmęczenia, jest teraz większym lub mniejszym, niż dawniéj przy początku moich studyów. Przez obcowanie z innymi ludźmi i przez nasze obycie się ze zjawiskami natury, odbywającemi się w sposób jednostajny lub rytmiczny, dochodzimy do pojęcia o możliwości liczenia czasu, w którym wszystkie zdarzenia, czy to odnoszące się do nas samych, czy do innych osób, znajdują swe miejsce. Gdy mamy dwa zdarzenia (np. zmianę świetlną w gwieździe znajdującéj się w Koronie północnéj, badaną przez Hugginsa przy pomocy spektroskopu dnia 16 maja 1866 r. i umysłowy proces postawienia hypotezy, skutkiem którego Adams lub Leverrier zaczęli badania uwieńczone odkryciem planety Neptuna przez Gallego d. 23 sierpnia 1846) — to mówimy o nich, że jedno nastąpiło wcześniéj lub późniéj od drugiego, lub że oba nastąpiły jednocześnie.

Czas bezwzględny, istotny i matematyczny, uważa Newton za płynący jednostajnie i nie podlegający wpływowi prędkości lub powolności ruchu rzeczy materyalnych. Nazywamy go także trwaniem. Czas względny, pozorny i zwyczajny, jest trwaniem ocenianém z ruchu ciał, jak przy oznaczaniu dni, miesięcy, lat. Te miary czasu należy uważać za tymczasowe, albowiem postępy astronomii nauczyły nas mierzyć nierówności w długościach dni, miesięcy i lat i sprowadzać czas pozorny do miary jednostajniejszéj, którą jest średni czas słoneczny.

18. Przestrzeń bezwzględna.

Przestrzeń bezwzględną należy uważać za nieruchomą i pozostającą zawsze niezmienną. Porządek części przestrzeni nie może być zmieniony, również jak następstwo części czasu. Przedstawić sobie, że części przestrzeni z miejsc swych się poruszają, jest to samo, co przedstawić sobie, że samo miejsce samo przez się ruch odbywa.

Ponieważ nic nie ma, czémby jedna część czasu różniła się od innéj, prócz różnych wydarzeń, które w nim zachodzą, tak podobnież nie ma nic, czémby jedna część przestrzeni różniła się od innéj, wyjąwszy jéj związku z miejscem zajmowaném przez ciała materyalne. Czas zdarzenia możemy tylko opisać przez odniesienie go do innego zdarzenia, miejsce ciała tylko przez odniesienie go do innego ciała. Nasza cała wiadomość o czasie i przestrzeni jest więc rzeczywiście względną. Jeżeli ktoś przywykł zestawiać wyrazy, bez zadawania sobie trudu tworzenia myśli im odpowiadających, to łatwo mu utworzyć sobie antytezę między tą *względną* znajomością i tak nazwaną *bezwzględną*, i uważać naszą nieświadomość o bezwzględném położeniu punktu za dowód ograniczoności naszego umysłu. Przeciwnie, kto starał się przedstawić sobie stan umysłu, posiadającego świadomość bezwzględnego położenia punktu, ten na zawsze zadawalniać się będzie względném naszém poznaniem.

19. Postawienie ogólnego twierdzenia zasadniczego w fizyce.

Istnieje często powtarzane twierdzenie, które brzmi: „Te same przyczyny wytwarzają zawsze te same skutki.“

Aby wyjaśnić to twierdzenie, musimy określić, co znaczą te same przyczyny i te same skutki; gdyż jest rzeczą jasną, że żadne zdarzenie nie przytrafia się więcéj jak raz jeden, tak, że przyczyny i skutki nie mogą być równemi *pod każdym* względem. Istotnie w poprzedniém twierdzeniu rozumiemy tylko, że skoro przyczyny różnią się jedynie od siebie warunkami bezwzględnéj przestrzeni i bezwzględnego czasu, w którym zachodzą, to toż samo stosuje się i do skutków.

Następujące twierdzenie równoważne z poprzedzającém, zdaje się być jaśniejszém, wyraźniéj związaném z pojęciami przestrzeni i czasu i łatwiéj dającém się stosować do pojedyńczych przypadków:

„Różnica między dwoma zdarzeniami nie zależy od czystéj różnicy czasów lub miejsc, w których one zachodzą, lecz tylko od różnic w istocie, konfiguracyi, albo ruchu ciał uważanych.“

Ztąd wynika, że gdy zdarzenie miało miejsce w oznaczonym czasie i w oznaczoném miejscu, to zupełnie jednakowe zdarzenie może miéć miejsce w innym czasie i w inném miejscu.

Inne twierdzenie zasadnicze, którego nie należy mięszać z twierdzeniem wypowiedzianém na początku tego ustępu, brzmi: „Podobne przyczyny sprawiają podobne skutki.“

To twierdzenie jest prawdziwém tylko wtedy, gdy małe zmiany w stanie początkowym układu sprawiają małe zmiany w jego stanie końcowym. W wielkiéj liczbie zjawisk fizycznych warunek ten spełnia się; istnieją jednak wypadki, w których mała zmiana początkowa wytwarza wielką zmianę w stanie końcowym układu, tak jak np. przesunięcie zwrotnicy sprawia, że pociąg kolei żelaznéj zamiast pójść drogą właściwą, uderza o inny.

ROZDZIAŁ DRUGI.

20. Określenie przemieszczenia.

Porównaliśmy już ze sobą położenia różnych punktów układu w jednéj i téj saméj chwili. Mamy teraz porównać położenie punktu w danéj chwili z jego położeniem w pewnéj chwili poprzedniéj nazwanéj epoką.

Wodząca, która wskazuje położenie końcowe punktu względem położenia w danéj epoce, nazywa się przemieszczeniem punktu. Tak więc gdy A_1 jest położeniem początkowém, a A_2 położeniem końcowem cząstki A, to prosta A_1A_2 jest przemieszczeniem téj cząstki, a każda wodząca *oa* wychodząca z początku *o* równa i równoległa do prostéj $A_1 A_2$ wskazuje to przemieszczenie.

21. Diagram przemieszczenia.

Gdy inny punkt układu przechodzi z B_1 do B_2, to wodząca *ob* równa i równoległa do B_1B_2 wskazuje przemieszczenie cząstki B.

W ten sam spcsób przy pomocy wodzących wychodzących ze wspólnego początku O przedstawić się daje

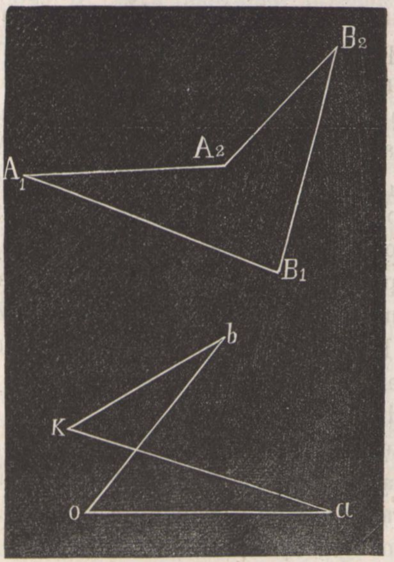

Fig. 3.

przemieszczenie dowolnéj liczby punktów. Ten układ wodzących nazywa się diagramem przemieszczenia. W diagramie tym nie koniecznie trzeba kréślić całkowicie wodzące, wystarcza bowiem oznaczenie ich punktów końcowych *a*,*b*, i t. d. Diagram przemieszczenia może być przeto uważany jako złożony z pewnéj liczby punktów *a*, *b* i t. d.

odpowiadających punktom A, B i t. d. układu i z punktu *o*, dowolnie obranego i uważanego za początek wodzących.

22. Przemieszczenie względne.

Prosta *ab* w diagramie przemieszczenia przedstawia przemieszczenie punktu B względem punktu A.

Gdy bowiem w diagramie przemieszczenia (Fig. 3) poprowadzimy prostą *ak* równą prostéj B_1A_1 równoległą do niéj i jednakowo skierowaną, i następnie punkta *k* i *b* połączymy prostą *kb*, to łatwo pokazać, że prosta *kb* jest równą i równoległą do prostéj A_2B_2.

Wodząca *kb* jest bowiem summą wodzących *ka*, *oa* i *ob*, wodząca A_2B_2 summą wodzących A_2A_1, A_1B_1 i B_1B_2. Lecz $ka=A_1B_1$, $ao=A_2A_1$, $ob=B_1B_2$, a według ust. 10-go porządek dodawania jest dowolnym, jest przeto prosta *kb* równą co do wielkości i kierunku prostéj A_2B_2. Otóż *ka* lub A_1B_1 przedstawia położenie początkowe punktu B względem punktu A, prosta *kb* lub A_2B_2 położenie końcowe punktu B względem punktu A, przeto prosta *ab* jest przemieszczeniem punktu B względem punktu A; co należało udowodnić.

W ustępie 20-tym nie mówiliśmy o tém, czy początek wodzących, do którego odniesioną została początkowa konfiguracya układu i początek wodzących, do którego odnosi się konfiguracya końcowa, są jednym i tym samym punktem, czy téż w czasie przemieszczania się układu przemieszcza się i początek wodzących.

Otóż przypuśćmy, że w poprzedniém uważaniu początek wodzących jest bezwzględnie stałym i że przemieszczenia *oa*, *ob* i t.d. są przemieszczeniami bezwzględnemi. Ażeby od tego przypadku przejść do takiego, w którym i początek doznaje przemieszczenia, wystarcza przyjąć punkt A, t. j. jeden z ruchomych punktów układu za początek. Ponieważ przemieszczenie bezwzględne punktu A przedstawia prosta *oa*, to przemieszczenie punktu B względem punktu A przedstawiać będzie prosta *ab* i podobnie rzecz się ma ze wszystkiemi innemi punktami układu.

Rozkład przeto punktów *a*, *b* i t. d. w diagramie przemieszczenia jest niezależnym od tego, czy przemieszczenia te odnosimy do punktu stałego, czy do ruchomego; jedyną różnicę stanowi to, że w diagramie przemieszczeń inny punkt przyjąć należy za początek wodzących, zachowując prawidło, że po przyjęciu pewnego punktu stałego lub ruchomego za początek w diagramie konfiguracyi, należy odpowiedni punkt przyjąć za początek w diagramie przemieszczenia. Dla wyrażenia tego faktu, że nic nie wiemy o bezwzględném przemieszczeniu jakiegokolwiek punktu układu, kreślimy diagram przemieszczeń jako układ samych punktów, nie oznaczając, który z nich jest początkiem.

Ten diagram przemieszczeń (bez początku) wyrażający wszystko, co wiedzieć możemy w ogóle o przemieszczeniu układu, składa się po prostu z pewnéj liczby punktów *a*, *b*, *c* i t. d. odpowiadających punktom A, B, C i t. d. układu materyalnego; przyczém jakakolwiek wodząca, np. wodząca *ab* przedstawia przemieszczenie punktu B względem punktu A.

23. *Przemieszczenie jednostajne.* *)

Gdy przemieszczenie wszystkich punktów układu materyalnego względem punktu zewnętrznego są równemi co do kierunku i wielkości, to diagram przemieszczenia spro-

---

*) Jeżeli jednocześnie wartości pewnéj wielkości dla różnych ciał lub miejsc są równemi sobie, mówimy wtedy, że ta wielkość jest *jednostajnie* (równomiernie) rozdzieloną w przestrzeni.

wadza się do dwóch punktów, z których jeden odpowiada punktowi zewnętrznemu, drugi zaś każdemu punktowi przemieszczającego się układu. W tym przypadku punkta układu nie przemieszczają się wcale względem siebie, lecz tylko względem punktu zewnętrznego.

Ten rodzaj przemieszczenia zachodzący wtedy, gdy ciało porusza się równolegle do samego siebie, nie zmieniając kształtu, nazwiemy przemieszczeniem jednostajném.

24. *Ruch.*

Zmiana w konfiguracyi układu uważana jedynie ze względu na jéj dwa stany przed zmianą i po zmianie, bez względu zaś na czas, w ciągu którego została dokonaną, jest przemieszczeniem układu.

Gdy przy tém zwracamy naszą uwagę na sam proces zmiany, jako odbywający się w pewnym czasie i w sposób ciągły, to zmianę konfiguracyi przypisujemy wtedy ruchowi układu.

25. *Ciągłość ruchu.*

Gdy cząstka materyalna przemieszcza się tak, że przechodzi z jednego położenia do drugiego, to może to

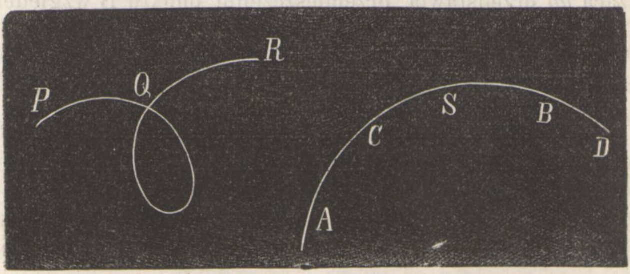

Fig. 4.

stać się tylko w ten sposób, że przebiega ona pewną drogę od pierwszego z nich do drugiego.

W każdéj chwili ruchu cząstka znajdować się będzie w innym punkcie swéj drogi, tak, że w ciągu ruchu przejść musi przez każdy z góry oznaczony punkt téj drogi przynajmniéj raz jeden. *). Tak właśnie rozumiéć należy wyrażenie: „cząstka opisuje drogę ciągłą.“ Ruch cząstki materyalnéj odbywający się w sposób ciągły w czasie i przestrzeni jest przykładem i typem każdéj formy ciągłości.

26. *O prędkości stałéj.* **)

Gdy ruch cząstki jest téj natury, że jéj przemieszczenia w czasach równych, jakkolwiek zresztą krótkich, są równemi i jednakowo skierowanemi, to mówimy, że cząstka porusza się z prędkością stałą.

Oczywiście w przypadku tym droga ciała (cząstki) będzie linią prostą, a długość pewnéj przebieżonéj części drogi będzie proporcyonalną do czasu, w ciągu którego opisaną została.

Stopień albo miara ruchu nazywa się prędkością cząstki, a jéj wielkość wyrażamy, mówiąc, że cząstka przebiega pewną oznaczoną przestrzeń (odległość) w ciągu pewnego oznaczonego czasu, np. dziesięć mil w ciągu godziny, albo jeden metr w ciągu sekundy. Zwykle dla oznaczenia prędkości wyrażamy przestrzeń przebieżoną w ciągu odpowiednio wybranéj jednostki czasu, np. w ciągu sekundy.

---

*) Jeżeli droga przecina sama siebie i ma formę węzła PQR (fig. 4), to cząstka przechodzi przez punkt przecięcia Q dwa razy; cząstka poruszająca się po linii ABCD może przez ten sam punkt S przejść trzy lub więcéj razy, gdy odbywa swój ruch po téj linii w jedną i drugą stronę.

**) Gdy następujące kolejno po sobie wartości pewnéj wielkości odpowiadające kolejno idącym po sobie cząstkom czasu, są równemi sobie, to wielkość tę nazywamy stałą.

Jeżeli cząstka przebiega metr w ciągu jednéj sekundy i prędkość jéj jest stałą, to przebieży ona tysiączną lub milionową część metra w ciągu tysiącznéj lub milionowéj części sekundy. Gdy więc potrafimy dostrzedz albo obliczyć przemieszczenie cząstki w ciągu pewnego, jakkolwiek zresztą krótkiego, przedziału czasu, to ztąd już będziemy w stanie oznaczyć przestrzeń (odległość), jaką cząstka opisuje w dłuższym czasie z tą samą prędkością. Rezultat ten dający możność oznaczenia prędkości przy pomocy krótkiego przeciągu czasu, nie wymaga wcale, by ciało poruszało się wedle téj saméj miary przez dłuższy czas. Tak np. można wiedziéć, że ciało porusza się z prędkością dziesięciu mil na godzinę, lubo ruch jego wedle téj miary trwa tylko setną część sekundy.

27. *Miara prędkości zmiennéj.*

Gdy prędkość cząstki nie jest stałą, to wartość jéj w danéj chwili mierzy się przestrzenią (odległością), jaką opisuje w ciągu jednostki czasu ciało mające taką samą prędkość, jaką ma dana cząstka w uważanéj chwili.

Gdy np. mówimy, że po upływie sekundy od chwili, w któréj ciało spadać zaczęło, prędkość jego wynosi 980 centymetrów, rozumiemy przez to, że gdyby prędkość pewnéj cząstki była stałą i równą prędkości ciała w uważanéj chwili, to cząstka ta przebiegałaby 980 centymetrów w ciągu jednéj sekundy.

Dokładne zrozumienie, co jest prędkością albo miarą ruchu ciała, jest rzeczą niezmiernie ważną, albowiem pojęcia nasuwające się umysłowi przy rozważaniu ruchu, są to téż same pojęcia, jakich użył Newton w swoim rachunku pochodnych (fluksyj) *), a które stanowią podstawę wielkiéj budowli ścisłéj umiejętności wzniesionéj w nowszych czasach.

28. *Diagram prędkości.*

Jeżeli w przypadku, gdy każde z ciał danego układu posiada prędkość stałą, porównamy konfiguracyę układu w początku jednostki czasu z konfiguracyą w końcu téj jednostki, to przemieszczenia dokonane w ciągu jednostki czasu przez ciała poruszające się ze stałą prędkością wyrażają prędkości ciał podług metody podanéj w ustępie 26-ym.

Jeżeli prędkości w ciągu jednostki czasu nie są w saméj rzeczy stałemi, to należy wyobrazić sobie inny układ złożony z téj saméj liczby ciał jak dany, w którym pojedyńcze prędkości są równe odpowiadającym im prędkościom pierwszego układu i pozostają stałemi w ciągu jednostki czasu. Przemieszczenia tego układu przedstawiają prędkości danego układu w uważanéj chwili.

Inna metoda utworzenia diagramu prędkości układu w danéj chwili polega na tém, że przyjmuje się mały przedział czasu równy n-éj części jednostki czasu tak, aby środek tego przedziału przypadł w uważanéj chwili. Otóż utworzywszy diagram przemieszczeń dla tego przedziału, powiększa się wszystkie jego wymiary n razy. Otrzymany w ten sposób diagram jest diagramem *średnich* prędkości

---

*) Jeżeli wartość pewnéj wielkości zależy od innéj wielkości, to miara zmienności pierwszéj z nich względem drugiéj wyraża się podług metody Newtona, jako prędkość, skoro założymy że pierwsza wielkość przedstawia przemieszczenie cząstki, a drugą wyobrazimy sobie jako płynącą jednostajnie wraz z czasem.

układu w uważanym przedziale czasu. Jeżeli przypuścimy teraz, że liczba n rośnie nieograniczenie, to przedział ten nieograniczenie maleje, a średnie prędkości nieograniczenie zbliżać się będą do istotnych prędkości w uważanéj chwili. Gdy nakoniec n jest nieskończenie wielkiém, to wtedy diagram przedstawia dokładnie prędkości w uważanéj chwili.

29. Własności diagramu prędkości.

Diagram prędkości układu złożonego z pewnéj liczby cząstek materyalnych składa się z pewnéj liczby punktów, z których każdy odpowiada pojedyńczéj cząstce.

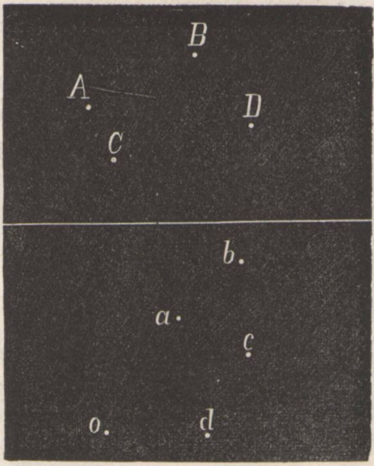

Fig. 5.

Prędkość cząstki B względem innej cząstki A przedstawia co do kierunku i wielkości prosta ab w diagramie prędkości poprowadzona z punktu a odpowiadającego cząstce A do punktu b odpowiadającego cząstce B.

W ten sposób za pomocą diagramu znaleźć można prędkość względną każdych dwóch cząstek. Diagram nic nie orzeka o bezwzględnéj prędkości którégokolwiek punktu; wyraża on dokładnie to, co w ogóle wiedzieć możemy o ruchu i nic nadto.

Jeżeli zrobimy na chwilę przypuszczenie, że wodząca *oa* przedstawa bezwzględną prędkość cząstki A, wtedy bezwzględną prędkość dowolnéj cząstki np. cząstki B, przedstawi wodząca *ob* poprowadzona z punktu *o*, jako z początku, do punktu *b* odpowiadającego cząstce B.

Jak jednak położenie ciała oznaczyć możemy jedynie odnośnie do położenia pewnego punktu, który nazwijmy punktem porównania, tak również prędkość ciała oznaczyć możemy jedynie w sposób względny w odniesieniu do prędkości punktu porównania. Wyrażenie „prędkość bezwzględna“ jest tak samo bez znaczenia, jak wyrażenie: „położenie bezwzględne.“ Dla tego lepiéj nie wyróżniać wcale w diagramie prędkości żadnego punktu początkowego, a uważać diagram jako wyrażenie związków między wszystkiemi prędkościami, nic nie orzekając o bezwzględnéj wartości którejkolwiek z nich.

30. Znaczenie wyrażenia: „w spoczynku.“

Gdy powiadamy, że ciało jest w spoczynku, posługujemy się wtedy sposobem mówienia, który zdaje się coś orzekać o ciele uważaném w sobie, i możnaby sądzić, że prędkość innego ciała odniesiona do ciała pozostającego w spoczynku jest prawdziwą i jedyną bezwzględną prędkością. Lecz wyrażenie: „w spoczynku“ oznacza w życiu codzienném tyle, co brak prędkości względem tego, na czém ciało stoi, np. względem powierzchni ziemi, albo pokładu statku. Więcéj nic się w tém wyrażeniu nie mieści.

Z tego względu wyróżnianie spoczynku i ruchu, jako dwóch różnych stanów ciała, jest postępowaniem nienaukowém; albowiem jest rzeczą niemożebną mówić o ciele będącém w spoczynku lub ruchu, nie odnosząc go w sposób wyraźny lub ukryty do innego ciała.

31. Zmiana prędkości.

W ten sam sposób, w jaki porównywaliśmy ze sobą prędkości różnych ciał w tym samym czasie, możemy także porównywać prędkości względne jednego i tego samego ciała w różnych czasach w odniesieniu do innego ciała.

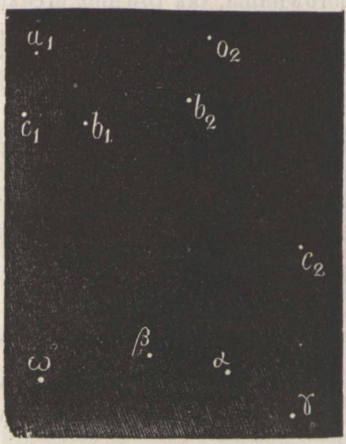

Fig. 6.

Jeżeli a_1, b_1, c_1 jest diagramem prędkości układu ciał A, B, C w jego położeniu początkowém, a_2, b_2, c_2—diagramem prędkości tegoż układu w położeniu końcowém: jeżel dalej przyjmiemy punkt ω za początek i poprowadzimy proste: $\omega\alpha$ równą i równoległą do a_1 a_2, $\omega\beta$ równą i równoległą do b_1 b_2, $\omega\gamma$ równoległą do c_1 c_2 i t. d., to możemy punkta α, β, γ i t. d. uważać za diagram, którego znaczenie jest takie, że którakolwiek prosta diagramu, np. prosta $\alpha\beta$, wyobraża co do kierunku i wielkości zmianę prędkości punktu B względem punktu A. Diagram ten nazwiemy diagramem całkowitych przyspieszeń.

32. Przyspieszenie.

Wyraz przyspieszenie stosuje się tu dla oznaczenia pewnéj zmiany w prędkości, polegającéj już to na zwiększaniu się lub zmniejszaniu jéj wielkości, już to na zmianie kierunku. Nie odróżniamy przeto tu, jak w zwykłéj mowie, przyspieszenia, opóźnienia i zboczenia w ruchu ciała, lecz mówimy o przyspieszeniu w kierunku ruchu, w kierunku wprost przeciwnym, lub w kierunku poprzecznym do kierunku ruchu.

Jak przemieszczenie układu określamy jako zmianę jego konfiguracyi, w ten sam sposób i całkowite przyspieszenie układu określamy jako zmianę prędkości w układzie. Proces kreślenia diagramu całkowitych przyspieszeń przez porównanie początkowego i końcowego diagramu prędkości jest taki sam, jak przy kreśleniu diagramu przemieszczeń przez porównanie początkowego i końcowego diagramu konfiguracyi.

33. Stopień przyspieszenia.

Do téj pory uważaliśmy całkowite przyspieszenie zachodzące w ciągu pewnego przedziału czasu. Gdy stopień przyspieszenia jest stałym, to miarą jego jest całkowite przyspieszenie w ciągu jednostki czasu pewnego punktu, którego przyspieszenie jest stałém i równém przyspieszeniu cząstki w uważanéj chwili.

Z określenia tego wynika, że metoda wyprowadzania stopnia przyspieszenia z przyspieszenia całkowitego w ciągu danego czasu jest zupełnie podobną do metody, przy pomocy której wyprowadza się prędkość w chwili danéj z przemieszczenia w ciągu danego czasu.

Diagram całkowitych przyspieszeń wykreślony dla przedziału czasu równego n-éj części jednostki czasu i następnie powiększony n razy, jest diagramem średniego stopnia przyspieszenia w ciągu tego przedziału, a zmniejszając przedział ten nieograniczenie, dochodzimy nakoniec do istotnéj wartości stopnia przyspieszenia w chwili odpowiadającéj środkowi tego przedziału. Ponieważ stopień przyspieszenia uważanym bywa w fizyce daleko częściéj aniżeli całkowite przyspieszenie, przeto wyraz „przyspieszenie“ powszechnie stosują dla oznaczenia tego pojęcia, które wyżéj określiliśmy jako stopień przyspieszenia.

Jeżeli przeto w następstwie używać będziemy wprost wyrazu „przyspieszenie,“ to należy przezeń rozumieć to, co dotąd nazywaliśmy stopniem przyspieszenia.

34. Diagram przyspieszeń.

Diagram przyspieszeń jest to układ punktów, z których każdy odpowiada jednemu z ciał układu materyalnego, w ten sposób, że każda linia $\alpha\beta$ w diagramie przedstawia stopień przyspieszenia punktu B względem punktu A.

Zauważmy w tém miejscu, że używać będziemy w diagramie konfiguracyi dużych liter A, B, C i t. d. dla oznaczenia względnego położenia ciał układu; w diagramie prędkości małych liter a, b, c i t. d. dla oznaczenia względnych prędkości tych ciał w diagramie przyspieszeń; wreszcie liter greckich α, β, γ dla oznaczenia względnych przyspieszeń.

35. Przyspieszenie—jako pojęcie względne.

Przyspieszenie podobnie jak położenie i prędkość jest pojęciem względném i nie daje się pojmować w znaczeniu bezwzględném.

Gdyby każda cząstka świata materyalnego dostępna naszemu spostrzeganiu, w chwili danéj doznała zmiany prędkości w skutek tego, że do poprzedniéj prędkości przybyła nowa prędkość jednaka pod względem kierunku i wielkości dla wszystkich cząstek; w takim razie wszystkie ruchy względne ciał wewnątrz układu zachodziłyby w sposób doskonale ciągły i ani astronomowie, ani fizycy nie byliby w stanie wykryć za pomocą swych narzędzi, że zaszła w rzeczy saméj jakaśkolwiek zmiana.

Skoro zaś zmiana ruchu odbywa się w różny sposób w różnych ciałach układu, wtedy zachodzą zjawiska dostępne naszemu dostrzeganiu.

ROZDZIAŁ TRZECI.

SIŁA.

36. Kinematyka i kinetyka.

Uważaliśmy dotychczas ruch układu z czysto geometrycznego punktu widzenia. Pokazaliśmy, w jaki sposób bada się i opisuje ruch dowolnego układu, przy czém nie zwracaliśmy uwagi na warunki, wynikające ze wzajemnego działania na siebie ciał układu.

Teorya ruchu w ten sposób traktowana nazywa się *kinematyką*. Gdy zwracamy uwagę na wzajemne działanie ciał, nauka o ruchu nazywa się *kinetyką;* gdy zaś uwzględniamy specyalnie siłę jako przyczynę ruchu—*dynamiką.*

37. Wzajemne działanie dwóch ciał.—Parcie.

Wzajemne działanie dwóch części materyi otrzymuje oddzielne nazwy stosownie do punktu widzenia, z jakiego się bada, a ten punkt widzenia zależy od rozciągłości układu materyalnego, stanowiącego przedmiot naszéj uwagi.

Gdy rozważamy całkowite zjawisko wzajemnego działania dwóch części materyi na siebie, to nazywamy je *parciem* (stress). Stosownie do sposobu swego działania parcie to nazywa się przyciąganiem, odpychaniem, napięciem, ciśnieniem, ucinaniem (shearing stress), skręcaniem i t. d.

38. Siła zewnętrzna.

Jeżeli podobnie jak w ustępie drugim zwracamy uwagę naszą na jedną tylko z dwóch działających na siebie części materyi, to rzecz ma się tak, jak gdyby istniało tylko działanie jednostronne, to mianowicie, któremu ulega uważana przez nas część materyi, a zjawisko rozpatrywane z tego punktu widzenia, nazywamy siłą zewnętrzną ze względu na jego skutek (effect), a działaniem innéj części materyi—ze względu na jego przyczynę. Parcie uważane z odwrotnego punktu widzenia, nazywa się oddziaływaniem (reaction) na inną część materyi.

39. Różne poglądy na to samo zjawisko.

W stosunkach kupieckich jedna i ta sama umowa między dwiema stronami, nazywa się kupnem ze względu na jedną stronę, sprzedażą ze względu na drugą, zamianą ze względu na obie.

Prowadzący rachunki, sprawdzając zapisy téj umowy, znajduje, że obie strony zapisały ją na przeciwległych stronnicach swych ksiąg kupieckich i przy porównaniu ksiąg musi w każdym przypadku uprzytomnić sobie, do któréj z dwóch stron każda z tych ksiąg należy.

Z podobnych względów przy badaniach dynamicznych musimy zawsze pamiętać, którém się z dwóch ciał zajmujemy, aby uwzględnić siły odnośnie do tego ciała, i nie zapisć któréjkolwiek z nich na odwrotnéj stronie rachunku.

40. *Prawa ruchu Newtona.*

Siła zewnętrzna uważana ze względu na jéj skutek, t. j. ze względu na zmianę ruchu ciał jest zupełnie dokładnie określoną i opisaną w trzech prawach ruchu Newtona.

Pierwsze prawo wyraża, przy jakich warunkach siła zewnętrzna nie istnieje.

Drugie pokazuje, jak mierzyć siłę zewnętrzną, jeżeli ona istnieje.

Trzecie porównywa dwa objawy wzajemnego działania między dwoma ciałami, stosownie do tego, czy jedno lub drugie ciało uważa się za ulegające działaniu.

41. *Pierwsze prawo ruchu.*

I^0 prawo: *Każde ciało trwa w swym stanie spoczynku albo ruchu jednostajnego i prostolinijnego dopóty, dopóki siły zewnętrzne nie spowodują zmiany tego stanu.*

Doświadczalne stwierdzenie prawdziwości tego prawa polega na tém, że ile razy spotykamy zmianę w stanie ruchu ciała, tyle razy sprowadzić ją możemy do działania między tém ciałem i innén, a więc do siły zewnętrznéj. Istnienie tego działania wskazuje skutek, jaki ono wywołuje w innéni ciele, gdy ruch tego ostatniego może być dostrzeżonym. Tak np. prędkość biegnącéj kuli działowéj zmniejsza się; pochodzi to od działania między ciałem rzuconém i otaczającém powietrzem, w skutek którego kula ulega sile działającéj w kierunku przeciwnym własnemu ruchowi, przy czém powietrze pchnięte naprzód siłą równéj wielkości, samo wprawioném zostaje w ruch i tworzy to, co nazywa się wiatrem kuli działowéj.

Przekonanie nasze o prawdziwości tego prawa nabierze większéj mocy, gdy rozważymy, co wyniknie z jego negacyi. Niechaj będzie ciało poruszające się, które w pewnéj chwili pozostawiamy samemu sobie i uwalniamy od działania wszelkiej siły. Co się wtedy stanie? Według prawa Newtona, ciało trwać będzie w ruchu jednostajnym i prostolinijnym, to znaczy, że prędkość jego pozostanie stałą pod względem wielkości i kierunku. Przypuśćmy tedy, że prędkość ta nie pozostaje stałą przy wymienionych warunkach, lecz ulega zmianie. Zmiana prędkości musi miéć, jak to wiemy z ustępu 31-go, oznaczony kierunek i oznaczoną wielkość, a według twierdzenia zasadniczego podanego w ustępie 19-ym musi być niezależną od czasu i miejsca, w którém doświadczenie zachodzi. Kierunek przeto zmiany ruchu powinien dać się oznaczyć przez kierunek samego ruchu lub przez jakikolwiek kierunek stały w ciele.

Przypuśćmy najprzód, że prawo określające zmianę prędkości jest takie, że wielkość jéj maleje wedle pewnéj miary, i że miara ta jest tak małą, że przez żadne doświadczenia, nawet w ciągu setek lat wykryć się nie daje.

Prędkość, o któréj mówi to prawo hypotetyczne, może być tylko prędkością odniesioną do pewnego punktu znajdującego się w bezwzględnym spoczynku. Gdyby bowiem prędkość ta była prędkością względną, to zależałaby co do kierunku i wielkości od prędkości punktu porównania.

Istotnie, gdy ciało odniesione do pewnego punktu daje się poruszać ku północy z prędkością malejącą, to dość je odnieść wprost do innego punktu poruszającego się w tymże kierunku z prędkością jednostajną większą od prędkości ciała, by zdawać się mogło, że ciało porusza się ku południowi z ciągle wzrastającą prędkością.

Z tego względu i owo prawo hypotetyczne nie ma żadnego określonego znaczenia, chyba że przypuścimy możliwość określenia bezwzględnego ruchu i bezwzględnéj prędkości.

Gdy nawet przypuścimy tę możliwość i prawdziwość prawa hypotetycznego, to i wtedy nie będzie ono przeciwieństwem prawa Newtona, a oznaką istnienia jakiegoś środka opornego w przestrzeni.

Rozważmy jeszcze inny przypadek. Przypuśćmy prawo takie, że ciało poruszać się przestaje, skoro na nie nie działa już siła. Przypuszczenie podobne nie tylko sprzeciwia się wprost doświadczeniu, ale prowadzi nadto do określenia bezwzględnego spoczynku, jako stanu przyjmowanego przez ciało wtedy, gdy ono staje się wolném od wpływu sił zewnętrznych.

Tym sposobem pokazuje się, że negacya prawa Newtona pozostaje w sprzeczności z zasadami jedynego systematu trwałéj nauki o przestrzeni i czasie, jaką umysł ludzki utworzyć zdołał.

42. *Równowaga sił.*

Gdy ciało porusza się z prędkością stałą po linii prostéj, to siły zewnętrzne działające na nie, jeżeli tylko istnieją, znoszą się: są w równowadze.

Gdy np. wagon pociągu na kolei żelaznej porusza się ze stałą prędkością po linii prostéj, to siły zewnętrzne nań działające, jako to: ciągnienie wagonu przed nim idącego, parcie wagonu za nim będącego, tarcie o szyny, opór powietrza działający wstecz, ciężar wagonu działający ku dołowi i ciśnienie szyn działające ku górze—wszystkie znosić się muszą.

Ciała będące w spoczynku w odniesieniu do powierzchni ziemi, są w rzeczy saméj w ruchu, i ruch ich nie jest ani stałym, ani prostolinijnym. Ciężar pozorny ciał ocenia się siłą skierowaną ku górze, jaka jest potrzebną, by je utrzymać w spoczynku względnym do ziemi. Ciężar pozorny jest przeto znacznie mniejszym od przyciągania wywieranego przez ziemię i czyni z osią ziemską kąt mniejszy niż to przyciąganie, tak, że skombinowany skutek siły unoszącéj ciało i siły przyciągającéj ziemi, jest siłą prostopadłą do osi ziemskiéj, wystarczającą właśnie do utrzymania ciała na drodze kołowéj, którą ono musi opisywać, aby pozostać w spoczynku względem ziemi.

43. *Określenie równych czasów.*

Pierwsze prawo ruchu, wskazując okoliczności, przy których prędkość poruszającego się ciała pozostaje stałą; daje nam zarazem metodę dla określenia równych przedziałów czasu. Załóżmy, że układ materyalny składa się z dwóch ciał nie działających na siebie i nie podległych działaniu ciał znajdujących się zewnątrz układu. Gdy jedno z tych dwóch ciał jest w ruchu przez wzgląd na drugie, to jego prędkość względna wedle pierwszego prawa ruchu będzie stałą i prostolinijną.

Przedziały przeto czasu są równemi, gdy przemieszczenia względne w ciągu tych przedziałów są równemi.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że zdanie to nie wyraża nic więcéj prócz określenia pojęcia równych przedziałów czasu, które dotąd nie było jeszcze podane.

Jeżeli przyjmiemy jeszcze jeden układ, złożony podobnie jak pierwszy z dwóch ciał, na które nie działa żadne ciało, to i ten drugi układ da nam niezależną metodę dla porównania przedziałów czasu.

Twierdzenie przeto, że równe przedziały są to takie przedziały, w ciągu których zachodzą równe przemieszczenia podobnego układu, jest równoznaczném z twierdzeniem, że porównanie przedziałów daje zawsze rezultat jeden i ten sam, niezależnie od tego, czy do miary czasu użyjemy jednego, czy drugiego układu.

Widzimy przeto, że istnieje teoretyczna możliwość porównania równych przedziałów czasu jakkolwiek odległych; prawie zbyteczną jest rzeczą dodawać, że metoda ta praktycznie przeprowadzić się nie daje w bliskości ziemi, albo innéj jakiéj wielkiéj i ciężkiéj massy.

44. Drugie prawo ruchu.

II-gie prawo: *Zmiana ruchu jest proporcyonalną do siły z zewnątrz działającéj i następuje w kierunku działania téj ostatniéj.*

Przez ruch rozumie tu Newton to, co w nowszym języku naukowym nazywa się *momentem*, w którym uwzględnia się ilość i prędkość poruszającéj się materyi.

Siłą działającą z zewnątrz (impressed force) jest u Newtona to, co teraz nazywa się *pobudzeniem* (impulse), w którém uwzględnia się i czas, w ciągu którego siła działa, i jéj natężenie.

45. Określenie równych mass i równych sił.

Dla wyjaśnienia drugiego prawa potrzeba przedewszystkiém określić równe ilości materyi i równe siły.

W tym celu musimy przypuścić, że posiadamy możność otrzymywania w różnych przypadkach jednego i tego samego natężenia siły działającéj między dwoma ciałami. Przypuszczenie to jest uzasadnioném, jeżeli przyjmiemy stateczność (permanencyę) własności ciał. Wiemy, że pasek kauczukowy rozciągnięty w kierunku swéj długości wywiéra pewne napięcie, wzrastające wraz z wydłużeniem. W skutek téj własności nazywamy pasek ten sprężystym. Gdy w innym razie wyciągniemy pasek na tę samą długość, to jeżeli własności jego pozostają stałemi, wywrze on to samo napięcie. Na jednym końcu paska utwierdźmy ciało M, na które niechaj nie działa żadna siła prócz prężności pręta. Drugi koniec trzymajmy w ręce i ciągnijmy go w kierunku stałym z pewną siłą dostateczną do wyciągnięcia paska na pewną długość. Siła działająca na ciało będzie miała wtedy pewne natężenie F. Ciało nabędzie pewnéj prędkości i po upływie jednostki czasu prędkość ta przybierze wartość oznaczoną V.

Gdy do tego samego paska przytwierdzimy inne ciało N i wyciągniemy go jak w przypadku poprzednim, tak, aby wydłużenie było to samo, to i siła działająca na ciało będzie tą samą; jeżeli i prędkość, jaką nabywa ciało N w jednostce czasu będzie równą V, to mówimy, że ciała M i N składają się z równych ilości materyi, albo wyrażając się językiem nowoczesnym, mają równe massy. W ten sposób przy pomocy paska sprężystego moglibyśmy otrzymać massy pewnéj liczby ciał, tak, aby każda z nich była równą jednostce massy, np. funtowi handlowemu, który jest jednostką massy przyjętą w Wielkiéj Brytanii.

46. *Miara massy.*

Naukowa wartość téj metody dynamicznéj, służącéj do porównania ilości materyi, występuje jasno, gdy ją porównamy z innemi zwykle używanemi metodami.

Gdy mamy do czynienia wyłącznie z ciałami jednéj natury, to nie trudno widzieć, w jaki sposób należy wtedy mierzyć ilość materyi. Jeżeli równe ilości substancyi wywołują jednakie skutki jakiéjkolwiek zresztą natury, to skutki te można stosować jako miary ilości substancyi.

Ilość pewnéj oznaczonéj części, np. kwasu siarczanego jednostajnego składu, możemy ocenić przy pomocy kilku naukowych metod. Możemy ją zważyć, albo oznaczyć objętość jéj przez wlanie do naczynia z podziałką, albo oznaczyć jaką ilość normalnego roztworu potasowego ilość ta kwasu zobojętnia.

Możemy użyć tych samych metod do oznaczenia ilości kwasu azotnego, gdy mamy do czynienia wyłącznie z kwasem azotnym. Lecz gdyby szło o porównanie pewnéj ilości kwasu siarczanego z pewną ilością kwasu azotnego, to każda z powyższych metod dałaby wypadki różne.

Metoda ważenia zależy od przyciągania między kwasem a ziemią, metoda mierzenia cd objętości, jaką kwas zajmuje, metoda chemiczna jest zależną od powinowactwa między kwasem a potasem.

Przeciwnie w abstrakcyjnéj dynamice materya rozpatruje się z jedynego punktu widzenia, a mianowicie jako to, co zmienia swój ruch pod wpływem działania siły. Dwa ciała przeto mają równe massy wtedy, kiedy siły równe działające na te ciała w ciągu czasów równych udzielają im równych prędkości. Jest to jedynie dozwolone w dynamice określenie równych mass, które stosować można do wszystkich ciał materyalnych niezależnie od ich składu.

Spostrzeżono, że ciała mające równe massy, sprowadzone do jednakowego położenia względem ziemi, zostają w jednakowy sposób przez nią przyciągane, niezależnie od materyi, z któréj są złożone. Nie jest to wszakże twierdzeniem dynamiki abstrakcyjnéj, opartéj na pewnikach (aksiomatach), ale faktem odkrytym przez obserwacye i sprawdzonym przez staranne doświadczenia Newtona *) nad czasem wahania kul drewnianych wydrążonych, zawieszanych na nitkach równéj długości i wypełnianych złotem, srebrem, ołowiem, szkłem, piaskiem, solą kuchenną, drzewem, wodą, pszenicą.

Fakt, że ciężary (wagi) równych mass mających jednakie położenie geograficzne są sobie równemi, jest tak ustalonym, że w handlu i w nauce massy porównywają się jedynie z pomocą ich ciężarów, wyjąwszy specyalne badania, mające na celu oznaczenie bezwzględne ciężaru jednostki massy na rozmaitych punktach ziemi. Metoda stosowana w tych badaniach jest w istocie taka sama, jak i metoda Newtona, mierzenia wahadła sekundowego.

Jednostka massy przyjęta w Anglii, ustaloną została aktem parlamentarnym z d. 30 lipca 1855; jest nią kawałek platyny ze stemplem „P. S. 1844. 1 ℔“ zachowany w skarbcu i nazwany „Imperial Standard Pound Avoirdupois.“ Jedna siedmiotysiączna część tego funta jest *granem*. We Francyi jednostką massy jest *„Kilogramme des Archives“* przygotowany z platyny przez Bordę. Professor Miller znalazł, że kilogram=15432,34874 grana.

47. Liczebna miara siły.

Jednostką siły nazywamy tę siłę, która działając na jednostkę massy w ciągu jednostki czasu, wytwarza jednostkę prędkości.

W ten sposób oznaczyć można ciężar grama, to jest siłę, pod wpływem któréj gram spada, gdy mu swobodnie padać dozwolimy. Gdy to doświadczenie odbywa się w An-

---

*) „Principia.“ III. Prop. 6.

glii, to prędkość grama w końcu pierwszéj sekundy wynosić będzie 981 centymetrów na sekundę. Ciężar przeto grama wyraża liczbę 981, jeżeli centymetr, gram i sekundę przyjmiemy za jednostki zasadnicze.

W wielu razach dogodnie bywa porównywać siłę z ciężarem ciała i mówić o sile wynoszącéj tyle a tyle funtów, lub tyle a tyle gramów. Nazywamy tę miarę *grawitacyjną* (ciężkościową). Lecz nie należy zapominać, że lubo funt czy gram pozostają zawsze temi samemi, to jednak ciężar funta lub grama pod wyższemi stopniami szerokości jest większym niż w blizkości równika; ocenianie przeto siły w ciężarach nie ma wartości naukowéj, chyba że dodajemy, w jakim punkcie ziemi mierzenie dokonaném zostało.

Jeżeli za jednostki długości, massy i czasu, przyjmiemy stopę, funt i sekundę, to jednostką siły będzie taka siła, która w ciągu sekundy udziela jednemu funtowi prędkości jednéj stopy na sekundę. Ta jednostka siły używana w Anglii nazywa się: „poundal.“

W systemacie metrycznym odpowiedniemi jednostkami są centymetr, gram i sekunda; jednostka siły udziela gramowi w ciągu jednéj sekundy prędkość jednego centymetra i nazywa się „dyne.“

Ponieważ stopa angielska = 30,4797 centymetra, a funt angielski 453.59 grama, przeto „poundal“=13825,35 „dynom.“

48. Jednoczesne działanie sił na ciało.

Niechaj jednostka siły działa w ciągu jednostki czasu na jednostkę massy. Prędkość massy ulegnie w skutek tego zmianie, a całkowite przyspieszenie równe jedności, będzie miało kierunek siły działającéj.

Wielkość i kierunek całkowitego przyspieszenia są niezależnemi od tego, czy ciało było poprzednio w spoczynku, czy w ruchu. Albowiem wyrażenie „w spoczynku" nie ma naukowego znaczenia, a wyrażenie „w ruchu" ma znaczenie zupełnie nieokreślone, gdy przez nie rozumiemy ruch względny; jeżeli zaś ma stosować się do ruchu bezwzględnego, to może być odniesionem tylko do pewnego stałego środka wypełniającego przestrzeń. Dążenie do odkrycia takiego środka i do określenia prędkości odniesionéj do niego przy pomocy spostrzeżeń nad ruchem ciał jest zupełnie naukowém. Ale gdyby nawet to wszystko mogło się udać, to i wtedy nie odkrylibyśmy błędu w prawach ruchu, lecz tylko nowy fakt w nauce.

Z tego względu skutek danéj siły działającéj na ciało, nie zależy od ruchu, jaki ciało już posiada.

Podobnież na skutek danéj siły nie wywiera wcale wpływu jednoczesne działanie innych sił na ciało. Skutek bowiem tych innych sił polega tylko na wytworzeniu ruchu ciała, a ruch ten nie wpływa na przyspieszenie, wytworzone działaniem pierwszéj siły.

Dochodzimy przeto do następującego wyrażenia prawa: *Gdy pewna liczba sił działa na ciało, to przyspieszenie, jakie wytwarza w niém każda pojedyńcza siła, jest takie samo, co do wielkości i kierunku, jak i wtedy, kiedy inne siły wcale na ciało nie działają.*

Gdy na ciało działa siła stałego kierunku i wielkości, to całkowite przyspieszenie nabyte przez ciało jest proporcyonalném do czasu, w ciągu którego siła ta działa.

Jeżeli bowiem siła w ciągu danego przedziału czasu wytwarza pewne oznaczone całkowite przyspieszenie, to w ciągu następującego równegoż przedziału czasu wytworzy takie samo całkowite przyspieszenie; skutek bowiem siły nie zależy od prędkości, którą już ciało posiada, gdy na nie siła działa. W każdym przeto przedziale czasu téj saméj długości, będzie miała miejsce jednakowa zmiana prędkości, a całkowita zmiana prędkości od początku działania siły będzie proporcyonalną do całego czasu tego działania.

Całkowite przyspieszenie w danym czasie jest proporcyonalném do siły.

Gdy bowiem kilka sił równych działa na ciało w tym samym kierunku, to każda z nich wywołuje swój skutek niezależnie od innych, a więc całkowite przyspieszenie jest proporcyonalném do liczby sił równych.

49. *Pobudzenie.*

Całkowity skutek siły działającéj na ciało przy udzielaniu mu prędkości jest przeto proporcyonalnym do siły i do czasu, w ciągu którego siła działa nieprzerwanie.

Iloczyn z czasu działania siły przez jéj natężenie, gdy ono jest stałém, lub przez jéj średnie natężenie, gdy ono jest zmiennéм, nazywa się *pobudzeniem* (impulsem) siły.

W pewnych przypadkach siła działa w ciągu tak krótkiego czasu, że trudno jest ocenić jéj natężenie albo czas działania. Ale stosunkowo łatwo wymierzyć skutek siły, a mianowicie zmianę ruchu ciała podległego jéj działaniu, a zmiana ta zależy, jak widzieliśmy, od pobudzenia.

Wyrazu „pobudzenie" używano pierwotnie do oznaczenia skutku siły działającéj w ciągu krótkiego czasu, np. uderzenia gwoździa młotkiem. Lecz różnica między tym a każdym innym przypadkiem działania siły nie jest istotną. Będziemy przeto używali tego wyrazu, tak jak został wyżéj określony, nie ograniczając się na przypadkach, w których działanie jest chwilowém.

50. *Związek między siłą i massą.*

Gdy siła działa na jednostkę massy w ciągu danego przedziału czasu, to pobudzenie, jak widzieliśmy, mierzy się wytworzoną prędkością.

Gdy równe siły jednego kierunku działają każda na jednostkę massy, to wszystkie massy te poruszać się będą w jednakowy sposób i można je połączyć ze sobą w jedno pojedyńcze ciało, przy czém zjawisko nie ulegnie żadnéj zmianie. Prędkość tego ciała jest więc równą téj prędkości, jakiéj jednostka massy nabywa pod działaniem jednostki siły.

Siła przeto potrzebna do wytworzenia pewnéj danéj zmiany prędkości ciała jest proporcyonalną do liczby jednostek massy składających to ciało.

51. *Moment.*

Liczebna miara momentu ciała jest iloczynem z liczby jednostek massy je składających przez liczbę jednostek składających prędkość, z jaką ciało się porusza.

Moment jednostki massy poruszającéj się z prędkością równą jednostce, służy za miarę momentów: jest momentem równym jedności.

Kierunek momentu jest ten sam co i prędkości, a ponieważ prędkość może być ocenianą tylko względnie do jakiegoś punktu porównania, przeto i wartość momentu zależy w każdym pojedyńczym przypadku od wyboru punktu porównania. Tak np. moment księżyca jest innym odnośnie do ziemi, a innym odnośnie do słońca przyjętych za punkt porównania.

52. Wyrażenie drugiego prawa ruchu przy pomocy pojęć pobudzenia i momentu.

Zmiana momentu ciała jest równą liczebnie pobudzeniu, które ją wytworzyło, a kierunek téj zmiany jest taki sam, jak kierunek opbudzenia.

53. Dodawanie sił.

Gdy pewna liczba sił działa jednocześnie na ciało, to każda siła wytwarza przyspieszenie proporcyonalne do swéj wielkości (ustęp 46-ty). Gdy przeto w diagramie przyspieszeń (ust. 34-ty) wychodząc z początku, wykreślimy prostą przedstawiającą co do wielkości i kierunku przyspieszenie wytworzone przez jedną siłę, z końca téj prostéj poprowadzimy drugą, wyrażającą przyspieszenie wytworzone przez drugą siłę, i tak daléj dla każdéj siły kreślić będziemy proste, w dowolnym zresztą porządku, to prosta łącząca początek z punktem końcowym ostatniéj prostéj przedstawia nam przyspieszenie wynikłe z połączonego wszystkich sił działania. Ponieważ proste przedstawiające przyspieszenia w tym diagramie są proporcyonalnemi do sił, od których przyspieszenia pochodzą, możemy przeto proste te uważać za przedstawicielki samych sił. Diagram uważany w ten sposób jest diagramem sił. Prosta łącząca początek z punktem końcowym szeregu przedstawia siłę wypadkową.

Ważnym jest przypadek, w którym prosta przedstawiająca ostatnią siłę kończy się w początku, tak, że w diagramie otrzymujemy figurę zamkniętą. W tym razie nie ma ani siły wypadkowéj, ani przyspieszenia. Skutki sił znoszą się wzajemnie, a przypadek ten jest przypadkiem równowagi. Roztrząsanie przypadków równowagi jest zadaniem statyki.

Ponieważ siły takiego układu wzajemnie znoszą się zupełnie i cały układ sił równoważny jest sile równéj zeru, to oczywiście, siły i wtedy będą w równowadze, gdy w podobny sposób działają na inny jakikolwiek układ materyalny o dowolnéj massie. Oto powód, dla którego nie uwzględniamy wcale massy w badaniach statycznych.

54. Trzecie prawo ruchu.

3-cie prawo. Oddziaływanie jest zawsze równém i wprost przeciwném działaniu; to znaczy: działania wzajemne dwóch ciał są zawsze równe i przeciwnego kierunku.

Gdy na oba ciała, między któremi zachodzi działanie wzajemne, nie działą żadna inna siła, wtedy zmiany momentów wytworzone tém działaniem są równemi i przeciwnego kierunku.

Zmiany zaś prędkości obu ciał są także kierunku przeciwnego, ale nie są już równemi, wyjąwszy przypadek równych mass. We wszystkich innych przypadkach zmiany prędkości są w stosunku odwrotnym do mass.

55. Działanie i oddziaływanie są dwoma objawami parcia.

Użyliśmy już wyżéj wyrazu „parcie“ dla wyrażenia wzajemnego działania dwóch części materyi. Wyraz ten został wziętym z mowy powszedniéj, a prof. Rankine, któremu zawdzięczamy wiele pożytecznych naukowych wyrażeń, nadał mu zupełnie określone naukowe znaczenie.

Skoro już utworzyliśmy sobie wyobrażenie parcia, np. napięcia sznura albo ciśnienia między dwoma ciałami i poznaliśmy jego dwa objawy, względnie do dwóch części materyi, między któremi ma ono miejsce, to spostrzeżemy, że trzecie prawo ruchu jest jednoznaczném z twierdzeniem następującém: każda siła musi być téj saméj natury, co uważane parcie; że parcie ma tylko miejsce między dwiema częściami materyi i że skutki sił wywołane w tych częściach (ocenione momentami wytworzonemi w danym czasie) są równemi i wprost przeciwnemi.

Parcie mierzy się liczebnie siłą wywartą na jedną z dwóch części materyalnych. Nazywa się ono w szczególności *napięciem*, gdy siła działająca na jedną część jest skierowaną ku drugiéj części, przeciwnie *ciśnieniem*, gdy siła działająca na jedną część jest skierowaną w kierunku odwrotnym.

Gdy siła jest pochyłą do powierzchni łączącéj dwie części materyalne, to nie daje się oznaczyć żadnym wyrazem zwykłéj mowy, lecz musi być określoną za pomocą pojęć matematycznych.

Gdy napięcie między dwoma ciałami utrzymujemy za pomocą pręta, to parcie, właściwie mówiąc, ma miejsce między dwiema częściami pręta utworzonemi za pomocą pomyślanego poprzecznego cięcia, przechodzącego pomiędzy obu ciałami. Skoro jednak pominiemy ciężar pręta, to każda z jego części będzie w równowadze pod wpływem napięć na końcach, tak, że napięcia w dwóch jakichkolwiek przecięciach poprzecznych muszą być równemi. Z tego względu mówimy często o napięciu pręta, jako o całości, bez wyszczególnienia któregokolwiek przecięcia, i mówimy także o napięciu między dwoma ciałami, nie biorąc pod uwagę natury pręta wywierającego to napięcie.

56. *Przyciąganie i odpychanie.*

Istnieją przypadki, w których dwa ciała oddzielone pewną odległością zdają się działać wzajemnie na siebie, lubo nie jesteśmy w stanie wykryć ciała pomiędzy niemi leżącego, jak np. pręta w poprzedzającym przypadku, za pomocą którego działanie to zostaje wywartém. Tak np. widzimy, że dwa magnesy lub dwa ciała naelektryzowane działają na siebie ze znacznych odległości; a obserwacya pokazuje, że ruchy ciał niebieskich są pobudzane przez coś takiego, co zależy od ich wzajemnego położenia.

To wzajemne działanie między dwoma odległemi ciałami nazywa się *przyciąganiem*, gdy usiłuje zbliżyć ciała do siebie, a *odpychaniem*, gdy usiłuje je oddalić.

We wszystkich jednak przypadkach działanie i oddziaływanie między ciałami są równemi sobie i wprost przeciwnemi.

57. *Trzecie prawo ruchu stosuje się do działania z odległości.*

Fakt, że magnes przyciąga żelazo, był już spostrzeżony przez starożytnych, którzy jednak zupełnie nie zwrócili uwagi na siłę, z jaką magnes zostaje przyciągany przez żelazo. Newton pomieścił magnes w jedném naczyniu a kawałek żelaza w drugiém i oba naczynia umieścił w wodzie tak, aby pływając, dotykały się; doświadczenie wykazało, że żadne z naczyń nie było w stanie posunąć drugiego w wodzie, skąd wynika, że przyciąganie magnesu przez żelazo było równém działaniu magnesu na żelazo, i że oba działania równały się wzajemnemu ciśnieniu naczyń na siebie. Sprawdziwszy doświadczalnie prawo działania i oddziaływania, Newton stara się uwidocznić wnioski wynikające z zaprzeczenia tego prawa. Gdyby działanie przyciągające pewnéj części ziemi, jakiéjś góry naprzykład, na resztę ziemi, było większém lub mniejszém, niż działanie reszty ziemi na tę górę, to pozostałaby siła działająca na układ złożony z ziemi i góry, jako na całość, i ta siła spowodowałaby ruch układu w przestrzeni odbywający się z ciągle wzrastającą szybkością.

58. Dowód Newtona nie jest dowodem doświadczalnym.

To zaś sprzeciwia się pierwszemu prawu ruchu, wedle którego żadne ciało nie zmienia swego stanu ruchu, chyba że nań działa *siła zewnętrzna.* Ale nie można powiedzieć, że to sprzeciwia się doświadczeniu, gdyż skutek nierówności przyciągania góry przez ziemię i ziemi przez górę byłby taki sam, jak skutek siły równéj różnicy tych dwóch przyciągań i działającéj w kierunku linii łączącéj środek ziemi z górą.

Gdyby góra znajdowała się na równiku, to sprawiłaby obrót ziemi około osi, równoległéj zresztą do osi, około któréj ziemia wiruje, ale nie przechodzącéj ściśle przez środek massy ziemskiéj.

Gdyby góra znajdowała się na jednym z biegunów to stała siła między nim a ziemią działałaby równolegle do osi ziemskiéj i spowodowałaby powolne przesuwanie się orbity ziemskiéj ku północnéj lub południowéj stronie płaszczyzny przechodzącéj przez środek massy słonecznéj.

Gdyby wreszcie góra znajdowała się w inném miejscu powierzchni ziemi, to skutek byłby częścią jednego, częścią drugiego rodzaju.

Żaden z tych skutków, w razie gdyby nie był zbyt znacznym, nie dałby się wykryć przez bezpośrednią obserwacyę astronomiczną. Metoda zaś pośrednia służąca do odkrywania małych sił przy pomocy powolnych zmian, jakie te siły wytwarzają w elementach dróg planetarnych, zakłada właśnie, że prawo ciążenia jest znaném w rzeczy saméj. Udowodnienie zatém praw ruchu za pomocą prawa siły ciążenia byłoby odwróceniem naukowego porządku. Byłoby to mniéj lub więcéj to samo, jak gdyby kto chciał dodawanie liczb uzasadnić za pomocą rachunku różniczkowego.

Musimy przeto twierdzenie Newtona przyjąć bez powoływania się na doświadczenie lub obserwacyę, a uważać je raczéj winniśmy za dedukcyę trzeciego prawa zasadniczego z pierwszego.

ROZDZIAŁ CZWARTY.

O własnościach środka massy układu materyalnego.

59. Określenie masso-wodzącéj,

Widzieliśmy, że wodząca oznacza działanie, za pomocą którego przeprowadzamy punkt opisujący z punktu początkowego do danego punktu.

Obecnie *masso-wodzącą* (mass-vector) określimy jako działanie, za pomocą którego pewną massę przeprowadzamy z danego początku do danego punktu. Kierunek masso-wodzącéj jest ten sam, co wodzącéj téj massy (the vector of the mass), a wielkość jéj równa się iloczynowi z massy przez wodzącą massy.

Jeżeli więc OA jest wodzącą massy A, to OA.A jest masso-wodzącą *).

60. Środek massy dwóch cząstek.

Jeżeli A i B są dwiema massami, a punkt C znajdujący się na prostéj AB ma położenie takie, że długości BC

---

*) Czytelnik zechce łaskawie pamiętać, że dla uniknienia dwuznaczności, będziemy zawsze oddzielali pojedyńcze czynniki kropkami, ak więc A.B jest iloczynem massy A przez samę B, AB jest długością prostéj AB, AB.C iloczynem prostéj AB przez massę C i t. p. (Przyp. tłomacza).

i CA są w stosunku mass A i B, to masso-wodząca massy A+B znajdującéj się w punkcie C jest równą summie massowodzących mass A i B.

Gdyż:

$$OA.A+OB.B=(OC+CA).A+(OC+CB).B$$
$$=OC.(A+B)+CA.A+CB.B.$$

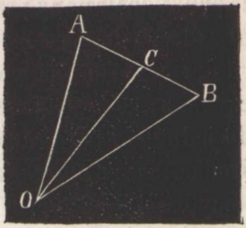

Fig. 7.

Lecz masso-wodzące CA.A CB.B są na zasadzie założenia równemi i wprost przeciwnemi, znoszą się przeto, tak, że:

$$OA.A+OB.B=OC.(A+B)$$

Oznacza to, iż punkt C posiada tę własność, że gdyby w nim były ześrodkowane massy A i B, to ich massowodząca, liczona od jakiegokolwiek początku O, byłaby taka sama, jak wtedy, gdy te massy znajdują się na swych istotnych miejscach, Punkt C nazywa się *środkiem massy* (centre of mass) cząstek A.i B.

61. Środek massy układu.

Gdy układ składa się z większéj liczby cząstek, to dla oznaczenia środka jego massy rozpoczynamy najprzód od dwóch jakichkolwiek cząstek, oznaczamy środek ich massy i zastępujemy je jedną cząstką, któréj massa równa się summie mass tych dwóch cząstek i znajduje się w tym środku. Następnie szukamy środka massy téj nowéj cząstki i trzeciéj jakiéjkolwiek cząstki układu i w tym środku massy umieszczamy summę mass wszystkich trzech dotąd uważanych cząstek układu. W podobny sposób postępujemy daléj, dopóki nie odszukamy środka massy całego układu.

Masso-wodząca massy równéj massie całego układu znajdującéj się w środku téj massy odniesiona do pewnego początku równa się summie masso-wodzących wszystkich cząstek układu względem tego początku.

Z dowodzenia pomieszczonego w ustępie 60-ym wynika, że punkt znaleziony przez powyżéj opisane wykreślenie czyni zadość dopiéro co wyrażonemu warunkowi. Z tego warunku wynika już wprost, że tylko jeden punkt może mu czynić zadość. Wykreślenie przeto musi zawsze prowadzić do jednego i tego samego wypadku odnośnie do położenia środka massy niezależnie od porządku, w jakim kombinujemy cząstki układu.

Środek massy jest przeto oznaczonym punktem w diagramie konfiguracyi układu. Jeżeli więc do pojedyńczych punktów w diagramach przemieszczenia, prędkości, całkowitego przemieszczenia i stopnia przyspieszenia dołączymy massy odpowiadających im cząstek, to w każdym z tych diagramów znajdziemy punkt odpowiadający środkowi massy.

62. *Wyrażenie momentu za pomocą stopnia zmiany masso-wodzącéj.*

Jeżeli punkta *o*, *a*, *b*, *c* diagramu prędkości odpowiadają początkowi O i ciałom A, B, C, a punkt *p* jest środkiem massy A umieszczonéj w punkcie *a* i massy B umieszczonéj w punkcie *b*, punkt zaś *q* środkiem massy A+B umieszczonéj w punkcie *p* i massy C umieszczonéj w punkcie *c*, to punkt *q* jest środkiem massy układu ciał A, B, C, umieszczonych odpowiednio w punktach *a*, *b*, *c*.

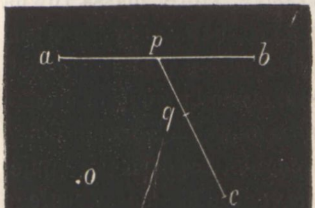

Fig. 8.

Prędkość punktu A względem punktu O wyraża wodzącą *oa*, prędkości punktów B i C względem tegoż punktu O wyrażają wodzące *ob* i *oc*. Wodząca *op* wyraża prędkość środka massy punktów A, B i C względem punktu O.

Momentem cząstki A względem początku O jest iloczyn z prędkości téj cząstki przez jéj massę, t. j. *o.a*. A, jest więc tém, co nazwaliśmy masso-wodzącą, odniesioną do początku *o* massy A umieszczonéj w *a*. Podobnież moment każdego innego ciała jest także odniesioną do punktu *o* masso-wodzącą odpowiedniego punktu w diagramie prędkości; moment massy ześrodkowanéj w środku massy układu jest masso-wodzącą odniesioną do punktu *o* całkowitéj massy układu, umieszczonéj w punkcie *q*.

Ponieważ tym sposobem masso-wodząca w diagramie prędkości jest tém, co poprzednio nazwaliśmy momentem, przeto własność dowiedziona w ustępie 61-ym przy pomocy pojęcia momentu daje się wyrazić w sposób następujący:

Moment massy równéj massie całego układu i poruszającéj się z prędkością środka massy układu jest co do wielkości równym, a co do kierunku równoległym do summy momentów wszystkich cząstek układu.

63. *Skutek, jaki siły zewnętrzne wywiérają na ruch środka massy.*

W diagramie całkowitego przyspieszenia, wodzące $\omega\alpha$, $\omega\beta$ i t. d. wychodzące z początku ω przedstawiają zmiany prędkości ciał A, B i t. d. w ciągu oznaczonego przedziału czasu. Odpowiednie masso-wodzące $\omega\alpha$.A, $\omega\beta$.B i t. d. wyobrażają odpowiednie zmiany momentu lub na

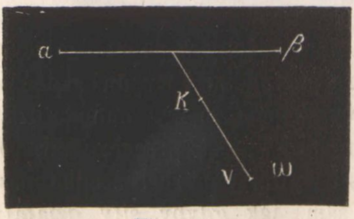

Fig. 9.

zasadzie drugiego prawa ruchu—pobudzenia sił, które działają na ciała w ciągu tego przedziału czasu.

Jeżeli $\varkappa$ jest środkiem massy układu, to $\omega\varkappa$ jest zachodzącą w ciągu tego czasu zmianą prędkości téj massy zesrodkowanéj w środku, a iloczyn $\omega\varkappa.(A+B+C)$ jest momentem massy. Według ustępu 61-go jest przeto zmiana momentu massy układu ześrodkowanéj w jéj środku równą summie zmian momentów pojedyńczych ciał układu.

Na zasadzie drugiego prawa ruchu możemy rezultat ten wypowiedziéć w formie następującéj:

Skutek, jaki siły działające na różne ciała układu, wywierają na ruch środka massy jest taki, jak gdyby wszystkie siły działały na jedną massę, równą massie całego układu i ześrodkowaną w środku massy.

64. Ruch środka massy układu nie ulega wpływowi działań wzajemnych między częściami układu.

Gdy bowiem między dwiema częściami układu, np. między A i B zachodzi działanie, to działanie części A na część B jest na zasadzie trzeciego prawa ruchu równém i przeciwném oddziaływaniu części B na część A. Moment przeto wytworzony działaniem części A na część B w ciągu pewnego czasu, jest równym i wprost przeciwnym momentowi wytworzonemu w ciągu tegoż czasu w skutek oddziaływania części B na część A, a ruch środka massy części A i B nie ulega wcale wpływowi wzajemnego działania tych części.

Możemy przeto rezultat wyrażony w poprzedzającym ustępie zastosować do tego przypadku i wypowiedziéć co następuje: Ponieważ siły wynikające ze wzajemnego działania części A i B są równemi i wprost przeciwnemi; ponieważ daléj, skutek tych sił wywarty na ruch środka massy całego układu jest taki sam, jak gdyby siły działały na cząstkę, któréj massa równa się massie całego układu; ponieważ nakoniec skutek dwóch sił równych i wprost przeciwnych jest zerem: przeto i ruch środka massy całego układu od wzajemnego działania części układu żadnéj nie ulega zmianie.

65. *Pierwsze i drugie prawo ruchu.*

Jest to twierdzenie bardzo ważne. Daje ono możność dokładniejszego wyrażenia pierwszego i drugiego prawa ruchu przy pomocy określenia prędkości ciała, jako prędkości środka jego massy. Ciało może być w ruchu obrotowym, może składać się z części podlegających zmianom konfiguracyi, tak, że ruchy rozmaitych części mogą być różnemi—we wszystkich przypadkach możemy prawa ruchn wyrazić w formie następującéj:

1-sze prawo. Środek massy układu trwa w swym stanie spoczynku albo ruchu jednostajnego i prostolinijnego dopóty, dopóki siły działające na układ z zewnątrz nie spowodują zmiany tego stanu.

2-gie prawo. Zmiana momentu układu w ciągu pewnego przedziału czasu mierzy się summą pobudzeń sił zewnętrznych w ciągu tego czasu.

66. *Metoda badania układów cząsteczkowych.*

Gdy układ składa się z części, które są tak małemi, że nie możemy ich widzieć, a których ruchy są tak szybkiemi i zmiennemi, że nie potrafilibyśmy ich opisać nawet wtedy, gdyby dały się dostrzedz—możemy i wtedy badać ruch środka massy takiego układu, ponieważ siły wewnętrzne powodujące zmiany ruchu części ciała są bez wpływu na ruch środka massy.

67. Przez wprowadzenie pojęcia massy przechodzimy od wodzących, przemieszczeń, prędkości, całkowitych przyspieszeń, do masso-wodzących, masso-przemieszczeń, momentów, pobudzeń i sił poruszających.

W diagramie stopni przyspieszeń (fig. 9, ustęp 63) wodzące $\omega\alpha$, $\omega\beta$ i t. d. wychodzące z początku ω przedstawiają przyspieszenia ciał A, B i t. d. w danéj chwili odniesione do stopnia przyspieszenia początku ω.

Odpowiednio masso-wodzące $\omega\alpha . A$, $\omega\beta . B$ i t. d. przedstawiają siły działające na ciała A, B i t. d.

Mówimy niekiedy o kilku siłach działających na jedno ciało, wtedy gdy siła działająca na ciało pochodzi od kilku różnych przyczyn, tak, że naturalnie uważamy części jednéj siły, jako wypływające oddzielnie z tych różnych przyczyn.

Gdy jednak uważamy siłę nie ze względu na jéj przyczyny, lecz ze względu na jéj skutek — t. j. zmianę ruchu ciała, wtedy nie mówimy już o siłach, lecz o jednéj sile działającéj na ciało; mierzymy ją stopniem zmiany momentu ciała i przedstawiamy za pomocą masso-wodzącéj w diagramie stopni przyspieszenia.

W ten sposób dochodzimy do szeregu różnorodnych masso-wodzących, odpowiadającego szeregowi wodzących już poprzednio roztrząsanemu.

Mamy naprzód układ masso-wodzących ze wspólnym początkiem, służący do oznaczenia rozmieszczenia massy w układzie materyalnym, zupełnie tak samo, jak odpowiedni układ wodzących przedstawia konfiguracyę geometryczną układu.

Przez porównanie rozmieszczenia massy w dwóch różnych epokach otrzymujemy układ masso-wodzących przemieszczenia.

Stopień masso-przemieszczenia jest momentem, tak jak stopień zmiany przemieszczenia— prędkością. Zmiana momentu jest pobudzeniem, podobnie jak zmiana prędkości—całkowitém przyspieszeniem.

Stopień zmiany momentu jest siłą poruszającą, podobnie jak stopień zmiany prędkości jest stopniem przyspieszenia.

68. Określenie masso-powierzchni.

Gdy cząstka materyalna porusza się od jednego punktu do drugiego, to podwójna powierzchnia, jaką opisuje wodząca téj cząstki pomnożona przez massę téj cząstki, nazywa się masso-powierzchnią przemieszczenia cząstki względem początku, z którego poprowadzono wodzącą.

Jeżeli opisana powierzchnia jest płaszczyzną, to kierunek masso-powierzchni (którą należy sobie przedstawić jako prostą. przyp. tłom.) jest normalnym (prostopadłym) do téj płaszczyzny. Dodatny kierunek téj normalnéj, mający być kierunkiem masso-powierzchni, oznacza się z tego warunku, że dla spostrzegacza stojącego na płaszczyznie ruch cząstki na niéj powinien odbywać się w tę samą stronę, w jaką odbywa się ruch skazówek w zegarze.

Jeżeli powierzchnia opisana przez wodzącą nie jest płaszczyzną, to drogę punktu należy podzielić na tak małe części, aby każdą z nich bez wielkiego błędu można było poczytać za linię prostą, po czém należy odpowiadające im masso-powierzchnie dodać wedle prawidła na dodawanie wodzących.

69. Moment kątowy.

Stopień zmiany masso-powierzchni jest podwójnym iloczynem z massy cząstki przez trójkąt (powierzchnię trójkąta), którego wierzchołek znajduje się w początku, a podstawa jest prędkością cząstki mierzoną wzdłuż prostéj przechodzącéj przez cząstkę w kierunku ruchu. Kierunek téj masso-powierzchni wskazuje normalna wedle wyżéj podanego prawidła.

Stopień zmiany masso-powierzchni cząstki nazywa się *momentem kątowym* téj cząstki, odniesionym do początku, a summa momentów kątowych wszystkich cząstek nazywa się momentem kątowym układu względem początku.

Moment kątowy układu materyalnego odniesiony do pewnego punktu jest więc wielkością oznaczonego kierunku i oznaczonéj wartości.

Określenie momentu kątowego cząstki względem punktu może być jeszcze dane w inny, nieco odmienny sposób, a mianowicie jako iloczyn z momentu téj cząstki względem tego punktu przez prostopadłą do kierunku ruchu cząstki w uważanéj chwili wyprowadzoną z początku.

70. Moment siły względem punktu.

Stopień wzrostu momentu kątowego cząstki jest iloczynem ze stopnia przyspieszenia jéj prędkości przez prostopadłą do kierunku przyspieszenia wyprowadzoną z początku. Jest to, innemi słowy, iloczyn z siły poruszającéj działającéj na cząstkę przez prostopadłą do kierunku siły wyprowadzoną z początku.

Iloczyn z siły przez prostą, prostopadłą do jéj kierunku i wychodzącą z początku nazywa się momentem siły względem początku. Osią momentu wskazującą jego kierunek jest wodząca prostopadła do płaszczyzny przechodzącéj przez kierunek siły i początek; kierunek dodatny téj osi (kierunek momentu) oznacza się w ten sposób, że spostrzegacz stojący na płaszczyznie widzi ruch cząstki pod wpływem siły odbywający się w tę samą stronę, w jaką odbywa się ruch skazówek w zegarze.

Stopień zmiany momentu kątowego cząstki względem początku, mierzy się momentem siły działającéj na cząstkę, odniesionym do początku.

Stopień zmiany momentu kątowego układu materyalnego względem początku mierzy się podobnież summą momentów sił działających na cząstki układu.

71. *Zachowanie momentu kątowego.*

Uważmy najprzód dwie jakiekolwiek cząstki układu. Siły pochodzące od wzajemnego działania tych cząstek są równemi, działają w kierunku téj saméj prostéj, ale w przeciwne strony. Momenty przeto tych dwóch sił względem jakiegokolwiek punktu przyjętego za początek mają równą wielkość, tęż samą oś i przeciwny kierunek. Summa tych momentów jest więc zerem. Podobnież wzajemne działanie między każdemi innemi dwiema cząstkami składa się z dwóch sił, dla których summa momentów jest zerem.

Wzajemne przeto działanie zachodzące między ciałami jednego układu materyalnego nie ma wcale wpływu na summę geometryczną momentów. Siły, jakie uwzględniać należy przy tworzeniu summy geometrycznéj momentów są jedynie siłami zewnętrznemi, t. j. zachodzą między całym układem lub jego częściami a ciałami do układu nie należącemi.

Wynika ztąd, że stopień zmiany momentu kątowego układu mierzy się summą geometryczną momentów sił działających na układ z zewnątrz.

Jeżeli kierunki wszystkich sił zewnętrznych przechodzą przez początek, to ich momenty są zerami, a moment kątowy układu jest stałym.

Kiedy planeta opisuje swą drogę około słońca, wtedy kierunek wzajemnego działania planety i słońca przechodzi stale przez środek massy układu obu ciał. Z tego względu moment kątowy każdego z tych ciał odniesiony do wspólnego środka massy jest stałym, dopóki uwzględniamy tylko te dwa ciała. Pod wpływem innych planet moment ten zmieniać się może. Jeżeli jednak w układzie naszym zawrzemy wszystkie planety, to summa geometryczna ich momentów kątowych odniesiona do środka massy układu będzie bezwzględnie stałą i zupełnie niezależną od działań wzajemnych między ciałami, w założeniu, że żadna ze sił pochodzących od ciał znajdujących się zewnątrz, nie działa w sposób różny na rozmaite części układu.

ROZDZIAŁ PIĄTY.

Praca i dzielność.

72. *Określenia.*

Praca (work) jest to czynność, wytwarzająca zmianę konfiguracyi układu wbrew sile opiérającéj się zmianie.

Dzielność (energia, energy) jest to zdolność wykonywania pracy.

Układ, który doznawszy szeregu zmian powraca następnie w pewien sposób do stanu początkowego, tak, że całkowita praca wykonana przez czynniki zewnętrzne nań działające równa się całkowitéj pracy, jaką on sam wykonał, przezwyciężywszy siły zewnętrzne—

(układ taki nazywamy układem zachowawczym conservative system).

73. Zasada zachowania dzielności.

Postępy fizyki doprowadziły do odkrycia i zbadania rozmaitych form dzielności i do postawienia twierdzenia, że wszystkie układy materyalne uważać można za układy zachowawcze, w założeniu, że uwzględniamy wszystkie różne formy dzielności, jakie w tych układach zachodzą.

Nauka ta, uważana za dedukcyę z dostrzeżeń i doświadczeń, nie wyraża, rozumié się, nic więcéj nad to, że do téj pory nie odkryto żadnego przykładu układu nie zachowawczego.

Uważana zaś za teoryę lub podstawę naukowych teoryj, nauka ta nabiérać będzie coraz większego prawdopodobieństwa, w miarę zwiększania się liczby dedukcyj, jakie z niéj wyprowadzamy, a które za każdym razem stwierdza doświadczenie.

W istocie rzeczy, nauka o zachowaniu dzielności jest ogólną zasadą, zgodną z faktami nie tylko fizyki, ale i wszystkich innych umiejętności.

Raz ujęta służyć ona będzie jako węzeł łączący wszystkie znane prawa o działaniach fizycznych, przy pomocy którego fizyk będzie w stanie odkrywać prawidłowe związki między temi działaniami w nowych gałęziach umiejętności.

Z tych względów nauka ta nazywa się powszechnie zasadą zachowania dzielności.

74. Ogólne wyrażenie zasady zachowania dzielności.

Całkowita dzielność każdego układu materyalnego jest wielkością, która się nie zwiększa ani zmniejsza wskutek działań zachodzących między częściami układu, ale może zmieniać się w każdą z form, w które dzielność przechodzi.

Jeżeli w skutek działania czynnika zewnętrznego konfiguracya układu ulega zmianie, podczas gdy siły układu opiérają się téj zmianie,—mówimy wtedy, że czynnik zewnętrzny wykonał pracę na układzie. W tym przypadku dzielność układu zwiększa się o ilość pracy wykonanéj na nim przez czynnik zewnętrzny.

Jeżeli przeciwnie siły układu wytwarzają zmianę konfiguracyi, któréj to zmianie opiéra się czynnik zewnętrzny, mówimy wtedy, że układ wykonywa pracę na tym czynniku i dzielność układu zmniejsza się o ilość wykonanéj pracy.

Praca przeto jest przenoszeniem dzielności z jednego układu do drugiego; układ wydatkujący dzielność wykonywa pracę na układzie, który tę dzielność przyjmuje, i ilość dzielności wydatkowanéj przez pierwszy układ jest zawsze ściśle równą ilosci dzielności przyjętej przez drugi.

Jeżeli złączymy oba układy w jeden większy, to oczywiście dzielność całego układu nie zostanie ani zwiększoną, ani zmniejszoną, przez wzajemne działanie układów cząstkowych.

75. *Miara pracy.*

Praca wykonana na układzie materyalnym przez czynnik zewnętrzny daje się przedstawić jako zmiana konfiguracyi układu, zachodząca pod wpływem siły zewnętrznéj, usiłującéj taką zmianę sprowadzić.

Jeżeli np. ktoś podnosi z ziemi funt na wysokość jednéj stopy, w kierunku przeciwnym sile ciężkości, to wykonywa pewną oznaczoną ilość pracy. Ta ilość pracy nazywa się w języku technicznym *stopo-funtem* (funto-stopą).

W tym razie człowiek podnoszący ciężar jest czynnikiem zewnętrznym, układ materyalny składa się z ziemi i funta, zmianą konfiguracyi jest zwiększenie odległości między substancyą ziemi i substancyą funta, a siłą, — siła skierowana ku górze, którą stosuje człowiek przy podnoszeniu funta, równa i wprost przeciwna ciężarowi funta. Podniesienie funta jeszcze na stopę wyżéj wymagałoby znowu takiéj saméj ilości pracy, rozumie się, w założeniu, że ciężkość jest siłą jednostajną. W istocie rzeczy, ciężkość nie jest jednostajną, lecz zmniejsza się w miarę oddalania się ciał od środka ziemi, tak, że stopofunt nie jest wielkością dokładnie określoną, chyba, że dodamy zarazem wielkość natężenia ciężkości w uważaném miejscu. Dla wyjaśnienia pojęcia pracy przyjmijmy jednak, że dla wyniesienia nie przechodzącego kilku stóp ciężkość pozostaje stałą; w tém przypuszczeniu praca wykonana przy podniesieniu funta będzie stopo-funtem dla każdéj pojedyńczéj stopy, na którą funt kolejno podnosimy.

Podniesienie np. dwudziestu funtów wody na dziesięć stóp wymagać będzie wykonania pracy równéj 200 stopo-funtom. W saméj rzeczy pedniesienie jednego funta na dziesięć stóp wymaga wykonania pracy równéj 10 stopofuntom, a podniesienie dwudziestu funtów, pracy dwadzieścia razy większéj, a więc dwustu stopofuntów.

Wielkość przeto wykonanéj pracy jest proporcyonalną do iloczynu liczb wyrażających użytą siłę i przesunięcie w kierunku siły.

W stopofuncie siłą jest ciężar funta, a ta wielkość w rozmaitych miejscach jest różną. Ciężar funta w mierze bezwzględnéj jest liczebnie równym natężeniu siły ciężkości, któréj wielkość oznaczamy zwykle przez g, a któréj wartość w *poundalach* zmienia się od 32,227 (na biegunach) do 32,117 (na równiku) i zmniejsza się nieograniczenie wraz z zwiększaniem się odległości od ziemi. Wyrażona w *dynach* wartość ta zawiera się między 978,1 i 983,1. Aby więc ilość pracy wyrazić miarą jednostajną, stosującą się do wszystkich miejsc na ziemi, musimy liczbę stopofuntów pomnożyć przez liczbę wyrażającą natężenie siły ciężkości w uważaném miejscu. Tym sposobem praca wyrazi się w *stopo-poundalach* i tak ją w dalszym ciągu stale wyrażać będziemy, chyba że wyraźnie podamy inny układ miary. Stopo-funty należą do układu *miary ciężkościowéj*, który jest układem niezupełnym, jeżeli nie jest znaném natężenie siły ciężkości w uważaném miejscu.

W układzie metrycznym jednostką pracy jest tak nazwany *erg*, t. praca, którą wykonywa „*dyna*" gdy uskutecznia przemieszczenie na długość jednego centymetra w jéj własnym kierunku. Wyrachować można, że 421393,8 takich jednostek (ergów) idzie na jeden stopo-poundal.

76. Dzielność potencyalna.

Praca, jaką wykonywa człowiek podnoszący ciało ciężkie, uskutecznia się przez przezwyciężenie przyciągania między ziemią i tém ciałem. Przy tém zwiększa się dzielność układu materyalnego składającego się z ziemi i ciała ciężkiego. Jeżeli ciało ciężkie jest np. ciężarem zegarowym, to przez nakręcenie zegara dzielność jego zwiększa się tak, że pomimo tarcia kół i oporu stawianego przez powietrze ruchowi wahadła, zegar może iść cały tydzień wydatkować dzielność w innéj formie przez wprawianie powietrza w drganie, skutkiem którego słyszymy chód zegara.

Jeżeli kto nakręca zegarek kieszonkowy, to wykonywa pracę, gdyż zmienia formę głównéj sprężyny przez zwijanie téjże. Zwiększa się wtedy dzielność sprężyny, która rozkręcając się, utrzymuje zegarek w ruchu.

W obu przypadkach dzielność udzielona układowi zależy od zmiany konfiguracyi.

77. *Dzielność kinetyczna.*

W innéj bardzo ważnéj klassie zjawisk praca wykonywa się skutkiem zmiany prędkości ciała poddanego działaniu. Rozważmy przypadek prosty ruchu ciała poruszającego się bez obrotu pod wpływem siły. Niechaj massa ciała będzie M funtów i niechaj na nie w kierunku ruchu działa w ciągu T sekund siła równa F poundalom. Prędkość ciała w początku uważanego przedziału czasu niechaj będzie V, a w końcu — V' stóp na sekundę; i niechaj długość odcinka przebieżonego przez ciało w ciągu uważanego czasu będzie S stóp. Moment początkowy ciała będzie M.V, moment końcowy M.V', przyrost momentu będzie równy M.(V'—V). Na zasadzie drugiego prawa ruchu, przyrost ten równa się pobudzeniu siły F działającéj w ciągu czasu T, t. j. równa się F.T; mamy przeto:

$$F.T = M.(V'-V) \qquad 1)$$

Ponieważ prędkość rośnie jednostajnie wraz z czasem, przeto prędkość średnia jest średnią arytmetyczną prędkości początkowéj i końcowéj, to jest równa się $\frac{1}{2}.(V'+V.)$

Możemy prędkość średnią oznaczyć jeszcze w inny sposób, mianowicie, dzieląc drogę S przez czas T, jest przeto:

$$\frac{S}{T} = \frac{1}{2} \cdot (V'+V) \qquad 2)$$

Mnożąc przez siebie odpowiednie strony równań (1) i (2), otrzymujemy:

$$F.S = \frac{1}{2} \cdot M.V'^2 - \frac{1}{2} . M.V^2 \qquad 3)$$

Tu F.S wyraża pracę wykonaną przez siłę F działającą na ciało, które pod jéj wpływem przebiegło drogę S w kierunku siły, i praca ta, jak pokazuje równanie (3), równa się nadmiarowi ilości $\frac{1}{2}.M.V'^2$ nad $\frac{1}{2}.M.V^2$. Jeżeli nazwiemy iloczyn $\frac{1}{2}.M.V^2$, t. j. połowę iloczynu z massy przez kwadrat prędkości — dzielnością kinetyczną ciała w początku uważanego czasu, to $\frac{1}{2}.M.V'^2$ będzie dzielnością kinetyczną w końcu czasu, w ciągu którego ciało pod wpływem siły F przebiegło drogę S. Dzielność jest tu wyrażona w stopo-poundalach.

Równanie nasze wyraża przeto co następuje: Praca, którą wykonała siła F, zmieniwszy ruch ciała, mierzy się przyrostem dzielności kinetycznéj nabytym przez ciało w ciągu czasu działania.

Udowodniliśmy twierdzenie w przypadku, gdy przedział czasu jest tak małym, że można uważać siłę za stałą w ciągu tego czasu, gdy zatém i prędkość średnią można przyrównać do średniéj arytmetycznéj prędkości początkowéj i końcowéj. Przypuszczenie to, zupełnie dokładne i dla dowolnie długich przedziałów czasu w przypadku siły stałéj, zbliża się w każdym innym przypadku do prawdy témbardziéj, im mniejszemi są uważane przedziały czasu Dzielimy więc cały czas trwania działania na małe przedziały i udowodniamy w sposób powyższy, że praca wykonana w ciągu każdego z nich jest równą przyrostowi dzielności kinetycznéj ciała; gdy następnie dodamy kolejno następujące po sobie części pracy i części przyrostu dzielności, to dojdziemy do wniosku, że całkowita praca wykonana przez siłę równa się całkowitemu przyrostowi dzielności.

Jeżeli siła działa na ciało w kierunku przeciwnym ruchowi tegoż, to dzielność kinetyczna ciała zamiast powiększać się, będzie się zmniejszała, a siła, zamiast wykonywania pracy, będzie działała jak opór, który ciało podczas swego ruchu przezwycięża. Ciało przeto poruszające się, dopóki jest w ruchu, wykonywa pracę w skutek przezwyciężania oporu, a praca przezeń wykonana równa się zmniejszeniu jego dzielności kinetycznéj. Gdy ciało ostatecznie przechodzi do stanu spoczynku, wyczerpuje się jego dzielność kinetyczna. Wtedy całkowita praca wykonana przez ciało jest tak wielką, jak początkowa jego dzielność kinetyczna. Teraz pojmujemy, że wyrażenie: „dzielność kinetyczna,“ którego używaliśmy dotąd tylko jako nazwy dla iloczynu $\frac{1}{2}M.V^2$ dobrze przedstawia istotę rzeczy. Dzielność bowiem ciała określiliśmy, jako jego zdolność wykonywania pracy. Miarą dzielności jest praca, jaką ciało wykonać może. Dzielność *kinetyczna* jest to dzielność, jaką ciało posiada skutkiem *ruchu* i wykazaliśmy teraz, że wartość jéj wyraża się przez $\frac{1}{2}M.V^2$ lub $\frac{1}{2}M.V \times V$, t. j. przez połowę iloczynu z jego momentu przez prędkość.

78. *Siły pochyłe.*

Jeżeli siła działa na ciało prostopadle do kierunku jego ruchu, to nie wykonywa żadnéj pracy, a zmieniając kierunek ruchu, nie zmienia prędkości. Dzielność kinetyczna, jako zależna od kwadratu prędkości, pozostaje tedy bez zmiany.

Gdy kierunek siły nie przypada ani w kierunku ruchu ciała, ani prostopadle do tegoż kierunku, to wtedy rozkładamy siłę na dwie składowe: jedną prostopadłą do kierunku ruchu, drugą przypadającą w kierunku ruchu (lub w kierunku wprost przeciwnym).

Pierwszą składową, która nie wykonywa pracy i nie zmienia dzielności kinetycznéj ciała, możemy pomijać we wszystkich obliczeniach dzielności.

Drugą składową rozpatrzyliśmy już poprzednio. Składowa ta, przypadając w kierunku ruchu, zwiększa dzielność kinetyczną o ilość pracy wykonanéj na ciele; przypadając zaś w kierunku wprost przeciwnym ruchowi, zmniejsza dzielność kinetyczną o ilość pracy wykonanéj przez ciało wbrew sile.

We wszystkich przeto przypadkach przyrost dzielności kinetycznéj równa się pracy, jaką czynniki zewnętrzne wykonywają na ciele, a ubytek téjże dzielności równa się ilości pracy, jaką wykonywa ciało, przezwyciężając opór zewnętrzny.

79. *Dzielność kinetyczna dwóch cząstek odniesiona do środka ich massy.*

Dzielność kinetyczna układu materyalnego składa się z dzielności kinetycznéj pojedyńczéj massy równéj massie całego układu i poruszającéj się z prędkością środka massy i z dzielności kinetycznéj pochodzącéj od ruchu części układu względem tego środka.

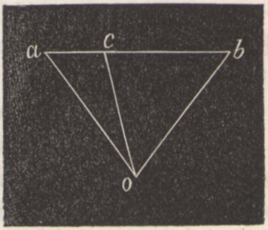

Fig. 10.

Rozpocznijmy od przypadku, w którym układ składa się tylko z dwóch cząstek. Ich massy niechaj będą A i B, ich prędkości w diagramie prędkości niechaj przedstawiają proste *oa* i *ob*. Jeżeli *c* jest środkiem massy dwóch cząstek, z których jedna ma massę równą A i znajduje się w punkcie *a*, druga zaś ma massę równą B i znajduje się w punkcie *b*, to *oc* przedstawia prędkość środka massy dwóch danych cząstek.

Dzielność kinetyczna naszego układu jest summą dzielności kinetycznych obu cząstek; oznaczając ją przez T, mamy przeto:

$$T = \tfrac{1}{2} . A . (oa)^2 + \tfrac{1}{2} . B . (ob)^2$$

Wyrażając $(oa)^2$ i $(ob)^2$ przy pomocy wielkości oc, ca, cb i kąta oca$=\delta$, mieć będziemy:

$$T = {}^1/_2 . A . (oc)^2 + {}^1/_2 . A . (ca)^2 - A . oc . ca . \cos\delta$$
$$+ {}^1/_2 . B . (oc)^2 + {}^1/_2 B . (cb)^2 - B . oc . cb . \cos\delta$$

Z przyczyny, że punkt *c* jest środkiem massy A pomieszczonéj w punkcie *a* i massy B pomieszczonéj w punkcie *b* jest:

$$A . ca + B . cb = o,$$

będzie przeto ostatecznie:

$$T = {}^1/_2 . (A+B) . (oc)^2 + {}^1/_2 A . (ca)^2 + {}^1/_2 B . (cb)^2.$$

Czyli: dzielność kinetyczna układu złożonego z dwóch cząstek A i B składa się z dzielności kinetycznéj massy A+B poruszającéj się z prędkością środka massy danych cząstek i z dzielności kinetycznéj ruchu tychże cząstek względem tego środka.

80. Dzielność kinetyczna układu materyalnego odniesiona do środka jego massy.

Ponieważ przyjęliśmy, że ruch cząstki jest ruchem środka jéj massy, rozpoczęliśmy przeto od przypadku dwóch cząstek i udowodniliśmy prawdziwość naszego twierdzenia dla układu składającego się z dwóch cząstek. Gdy zaś twierdzenie to jest prawdziwém dla dwóch takich układów, to musi być prawdziwém dla układu, jaki z nich złożyć można. Niechaj *oa* i *ob* będą prędkościami środków mass takich dwóch układów A i B, to *oc* przedstawiać będzie prędkość środka massy skombinowanego układu A+B. Gdy więc T_A jest dzielnością kinetyczną ruchu układu A względem środka jego massy i T_B ma podobne znaczenie dla układu B, to z dowiedzionego powyżéj dla układów A i B twierdzenia wynika, że dzielność kinetyczna układu A jest:

$${}^1/_2 . A . (oa)^2 + T_A$$

a układu B:

$$\frac{1}{2}.B.(ob)^2+T_B$$

Dzielność kinetyczna całego układu A + B jest przeto:

$$\frac{1}{2}A.(oa)^2+\frac{1}{2}.B.(ob)^2+T_A+T_B$$

lub:

$$\frac{1}{2}.(A+B).(oc)^2+\frac{1}{2}.A.(ca)^2+T_A+\frac{1}{2}B.(cb)^2+T$$

Pierwszy wyraz jest dzielnością kinetyczną massy równéj massie całego układu i poruszającéj się z prędkością środka massy całego układu.

Drugi i trzeci wyraz razem wzięte przedstawiają dzielność kinetyczną układu A wynikającą z ruchu względnego odnośnie do środka massy całego układu, a czwarty i piąty wyraz mają podobne znaczenie dla układu B.

Skoro więc powyższe twierdzenie jest prawdziwém dla każdego z układów A i B uważanych oddzielnie, to jest także prawdziwém dla układu złożonego z A i B. Prawdziwość twierdzenia dla przypadku dwóch cząstek została już udowodnioną; wynika ztąd prawdziwość jego dla układu złożonego z trzech, czterech i w ogóle z dowolnéj liczby cząstek, a więc dla każdego układu materyalnego.

Dzielność kinetyczna układu względem środka jego massy jest mniejszą od dzielności kinetycznéj układu odniesionéj do każdego innego punktu.

Albowiem dzielność kinetyczna odniesiona do każdego innego punktu przewyższa dzielność kinetyczną odniesioną do środka massy o ilość równą dzielności kinetycznéj massy równéj massie układu i poruszającéj się z prędkością względną środka massy odnośnie do wybranego punktu; a ponieważ dzielność kinetyczna z natury swéj jest ilością dodatną, przeto i ta przewyżka musi być dodatną.

81. Dzielność kinetyczna zamienna.

Widzieliśmy w ustępie 74-ym, że wzajemne działanie części układu materyalnego nie może zmienić środka jego massy. Część przeto dzielności kinetycznéj układu, pochodząca od ruchu środka massy, nie może zmienić się przez żadne działanie wewnętrzne w układzie. Jest zatém rzeczą niemożliwą przekształcić tę część dzielności w pracę przy pomocy działania wzajemnego części układu. Tak długo jak układ jest pozostawionym samemu sobie, dzielność ta przekształconą być nie może. Może ona być zamienioną w pracę tylko z pomocą działania między danym układem i innym jakimkolwiek układem materyalnym.

Gdy przeto uważamy pewien układ materyalny bez związku z jakim innym układem, to dzielność kinetyczną zamienną układu tego stanowi jedynie dzielność pochodząca od względnych ruchów części układu odnośnie do środka massy.

Przyjmijmy, że działanie między częściami układu jest takie, że po pewnym czasie konfiguracya układu staje się niezmienną i nazwijmy ten process *ustalaniem* się (solidification) układu. Dowiedliśmy, że moment kątowy całego układu nie ulega zmianie od wzajemnego działania części układu. Gdy więc moment początkowy układu jest zerem, to układ ten, skoro forma jego stanie się niezmienną, nie będzie obracał się około środka massy, lecz jeżeli tylko pozostanie w ruchu, poruszać się będzie równolegle do samego siebie, a części jego pozostaną w spoczynku odnośnie do środka massy. W tym więc przypadku cała zamienna dzielność przekształca się w pracę w skutek wzajemnego działania części w czasie ustalania się układu.

Jeżeli początkowa wartość momentu kątowego układu nie jest zerem, to i po ustaleniu się wartość ta pozostanie taką samą. Układ będzie zatém obracał się około środka massy i będzie miał jeszcze dzielność pochodzącą od ruchu względem środka massy. Ta pozostała dzielność nie dała się zamienić w pracę.

Gdy jednak części układu mogą oddalać się od siebie w kierunkach prostopadłych do osi momentu kątowego, a układ, skoro to rozszerzenie nastąpiło, ustala się, to pozostająca dzielność kinetyczna obrotu około środka massy staje się coraz i coraz mniejszą, w miarę jak rozszerzenie układu stopniowo się zwiększa. Przez dostateczne rozszerzenie układu można tedy pozostałą dzielność uczynić dowolnie małą i tym sposobem całą dzielność wynikającą z ruchu względem środka massy zamienić na pracę wewnątrz układu.

82. *Dzielność potencyalna.*

Dzielność potencyalna (potential energy) układu materyalnego jest to zdolność układu do wykonywania pracy zależna od innych okoliczności, aniżeli ruch układu. Innemi słowy, dzielność potencyalna jest to dzielność, która nie jest kinetyczną.

W układzie materyalnym teoretycznym, jaki zbudowaliśmy w naszéj wyobraźni z pojęć zasadniczych materyi i ruchu, nie ma innych warunków określających układ, prócz konfiguracyi i ruchu rozmaitych mass, należących do układu. Jedynemi przeto okolicznościami, od których wyłącznie zależy dzielność, są ruch i konfiguracya; ponieważ zaś dzielność kinetyczna zależy od ruchu, więc dzielność potencyalna zależyć musi od konfiguracyi.

Wiemy, że w wielu rzeczywistych układach materyalnych część dzielności zależy od konfiguracyi. Tak np.

sprężyna zegarowa ma więcéj dzielności, gdy jest zwiniętą, niż gdy jest częściowo odwiniętą; dwie sztaby magnesowe mają więcéj dzielności, gdy leżą obok siebie zwrócone w tę samą stronę jednoimiennemi biegunami, niż wtedy, gdy ich różnoimienne bieguny znajdują się przy sobie.

83. *Sprężystość.*

W przypadku sprężyny zegarowéj możemy wyśledzić związek zachodzący między zwijaniem sprężyny a siłą, którą ona wywiéra, dzieląc w myśli sprężynę na bardzo wielką liczbę bardzo małych części czyli elementów. Podczas zwijania sprężyny kształt każdéj z tych małych części zostaje zmienionym, a taką zmianę kształtu ciała stałego nazywamy odkształceniem (strain).

W ciałach stałych odkształceniu towarzyszy zawsze objaw siły wewnętrznéj albo parcia (prężności); takie ciała, w których ta prężność zależy wprost od odkształcenia nazywamy sprężystemi, a własność ciał wywierania prężności skutkiem odkształcenia — sprężystością.

Z nawijania więc sprężyny wynika wprost odkształcenie jéj elementów, a siła zewnętrzna, jaką wtedy ujawnia sprężyna, jest wypadkową parć zachodzących między elementami.

Zamiast bezpośredniego związku między zwijaniem sprężyny i siłą, jaką ona wywiéra, podstawiamy związek między odkształceniami i parciami elementów sprężyny: w miejsce pojedyńczego przemieszczenia i pojedyńczéj siły, między któremi zachodzi związek bardzo zawikłanéj natury, podstawiamy wielość odkształceń i odpowiednią wielość parć. Tym sposobem każde odkształcenie z odpowiedniém parciem łączymy związkiem daleko prostszym.

Lecz pomimo to, i teraz jak i przedtém, istota związku zachodzącego między konfiguracyą i siłą pozostaje zagadkową. Wszystko, co możemy o tém powiedzieć, jest tylko prostém skonstatowaniem faktu. Jeżeli zaś wszystkie zjawiska tego rodzaju podciągamy pod nazwę zjawisk sprężystości, to klassyfikacya ta może być wprawdzie bardzo pożyteczną, lecz nie należy zapominać, że sam wyraz „sprężystość“ wcale nie wyjaśnia związku zachodzącego między konfiguracyą i dzielnością.

84. Działanie z odległości.

W przypadku dwóch magnesów żadna substancya widzialna nie łączy ciał, między ktoremi zachodzi działanie. Czy między magnesami znajduje się powietrze lub woda, czy ciała te znajdują się w naczyniu, w którém za pomocą pompy zrobiono próżnię — we wszystkich przypadkach działanie wzajemne nie ulega zmianie. Można nawet między magnesami pomieścić płytę szklanną, metalową lub drewnianą, a zawsze znajdziemy, że wzajemne działanie zależy tylko od względnego położenia magnesów i nie zmienia się wcale w sposób wyraźny pod wpływem innych substancyj, z wyjątkiem metali magnetycznych. Według zwykle używanego wyrażenia, działanie między magnesami jest *działaniem z odległości*.

Usiłowano wprawdzie, i to z pewném powodzeniem *) działania te rozłożyć na oddzielne parcia rozmieszczone sposobem ciągłym w środku niewidzialnym, aby ustanowić analogię między działaniem magnesów a działaniem sprężyny lub sznura przy przenoszeniu siły, lecz pomimo to fakt powszechny, że odkształceniom lub zmianom konfiguracyi towarzyszą parcia lub siły wewnętrzne, skutkiem

---

*) Clerk Maxwell: „Treatise on Electricity and Magnetism.“ Vol. II, Art. 641.

których w układzie nagromadza się dzielność — fakt ten jest faktem ostatecznym, nie dającym się do tej pory wywnioskować z innéj bardziéj zasadniczéj prawdy.

85. *Teorya dzielności potencyalnéj jest bardziéj złożoną od teoryi dzielności kinetycznéj.*

Dzielność układu materyalnego może przeto zależyć od jego konfiguracyi. Sposób téj zależności jest daleko bardziéj złożonym niż sposób zależności dzielności kinetycznéj od ruchu układu. Dzielność bowiem kinetyczna daje się obliczyć za pomocą metody niezmiennéj z ruchu części układu. Mnożymy massę każdéj części przez połowę kwadratu jéj prędkości i dodajemy wszystkie te iloczyny. Dzielność zaś potencyalna wynikająca z wzajemnego działania części układu, może zależyć od względnego położenia tych części w różny sposób w różnych przypadkach. Gdy np. dwie kule bilardowe zbliżają się do siebie, to między niemi nie zachodzi żadne wyraźne działanie dopóty, dopóki nie zbliżą się do tego stopnia, że pewne ich części widocznie dotykać się będą. Jeżeli następnie środki kul jeszcze bardziéj zbliżają się do siebie, to stykające się ich części ustępują jedna drugiéj; wymaga to wydatkowania pewnéj ilości pracy.

W tym przypadku dzielność potencyalna jest stałą dla wszystkich odległości większych od odległości podczas pierwszego zetknięcia i zwiększa się bardzo szybko, gdy ta odległość się zmniejsza.

Siła, z jaką działają na siebie magnesy, zmienia się znowu w całkiem inny sposób wraz z odległością. I w rzeczywistości istota związku między konfiguracyą i dzielnością potencyalną układu nie daje się wcale oznaczyć bez pomocy doświadczenia.

86. Zastosowanie metody dzielności do obliczania sił.

Zupełna znajomość sposobu zmieniania się dzielności układu materyalnego w skutek zmiany konfiguracyi i ruchu układu, jest matematycznie równoznaczną ze znajomością wszystkich własności dynamicznych układu. Z jedynéj formuły matematycznéj wyrażającéj dzielność jako funkcyę ilości zmiennych, rozwinęli Lagrange, Hamilton i inni znakomici matematycy metody matematyczne, służące do wyrażania wszystkich sił i działań (parć) w poruszającym się układzie; lecz byłoby rzeczą trudną opisać te metody za pomocą pojęć elementarnych, na których ograniczamy się w téj książce. Treściwe przedstawienie metod tych znaleść można w mojém dziele: *Treatise on Electricity* *), gdzie mówię także o i ich zastosowaniu do zjawisk elektro-magnetycznych. **)

W przypadku układu będącego w spoczynku łatwo widzieć, w jaki sposób oznaczyć się dają siły układu, gdy wiadomo, w jaki sposób dzielność zależy od jego konfiguracyi.

Przypuśćmy, że czynnik zewnętrzny sprawia w układzie przemieszczenie z jednéj konfiguracyi do drugiéj. Jeżeli dzielność układu w drugiéj konfiguracyi jest większą niż w pierwszéj, to przyrost dzielności może pochodzić tylko od czynnika zewnętrznego. Czynnik ten musiał wykonać pracę równą przyrostowi dzielności, musiał przeto wywrzéć siłę w kierunku przemieszczenia i wartość średnia téj siły pomnożona przez przemieszczenie, musi być

---

*) Część IV-ta, rozdział 5-ty, ustęp 553-ci.

**) Ustępy bezpośrednio następujące.

równą wykonanéj pracy. Wartość średnią siły znajdziemy przeto, dzieląc przyrost dzielności przez przemieszczenie.

Jeżeli przemieszczenie jest znacznėm, to zmiana siły podczas przemieszczania się układu może być tak wielką, że jéj wartość średnia z trudnością oznaczyć się daje; lecz, ponieważ siła zależy od przemieszczenia, jeżeli przeto wyobrazimy sobie, że przemieszczenie coraz bardziéj maleje, to i odpowiadająca mu zmiana siły będzie coraz mniejszą, tak, że nakoniec będzie można siłę uważać za stałą w czasie przemieszczania się układu.

Jeżeli więc podług metody podobnéj do metod opisanych w ustępach 27-ym, 28-ym i 33-cim obliczymy stopień zwiększania się dzielności zależny od zmiany przemieszczenia, to stopień ten będzie liczebnie równym sile wywartéj przez czynnik zewnętrzny w kierunku przemieszczenia.

Jeżeli w czasie zwiększania się przemieszczenia, dzielność układu, zamiast wzrastać, maleje, to układ musi wykonywać pracę na czynniku zewnętrznym, a wtedy siła wywarta przez czynnik zewnętrzny musi mieć kierunek przeciwny kierunkowi przemieszczenia.

87. Wyszczególnienie kierunku siły.

W badaniach dynamicznych mówimy najczęściéj o siłach wywiéranych przez czynnik zewnętrzny na układ materyalny. Przeciwnie, siły, o których mówi się w badaniach nad elektrycznością, są zwykle siłami wywiéranemi przez układ naelektryzowany na czynnik zewnętrzny wstrzymujący ruch układu. Gdy więc mowa o sile, koniecznie trzeba zawsze pamiętać o tém, czy siła ma być uważana z jednego, czy z drugiego punktu widzenia.

Możemy w ogóle uniknąć téj dwuznaczności, uważając zjawisko dane jako całość i określając je, jako parcie między dwoma punktami lub dwoma ciałami, które jest już to prężnością lub ciśnieniem, już to przyciąganiem lub odpychaniem, stosownie do kierunku. Porównaj ustęp 55-ty.

88. Zastosowanie do układu będącego w ruchu.

Z poprzedzającego wynika, że znając dzielność potencyalną układu przy każdéj możliwéj konfiguracyi, możemy wywnioskować, jakie siły zewnętrzne są koniecznemi, aby układ utrzymać stale w każdéj z nich. Jeżeli układ jest w spoczynku, i te konieczne siły zewnętrzne istotnie działają, to układ będzie i pozostanie w równowadze. Jeżeli układ porusza się, to siła działająca na każdą cząstkę składa się z siły pochodzącéj od połączeń w układzie (równéj i wprost przeciwnéj obliczonéj w powyżéj opisany sposób sile zewnętrznéj) i z siły zewnętrznéj, istotnie na cząstkę wywartéj. Zupełna znajomość sposobu zależności dzielności potencyalnéj od konfiguracyi, dałaby nam możność przepowiadania wszystkich ruchów układu powstających pod wpływem danych sił zewnętrznych w przypuszczeniu, rozumie się, że potrafilibyśmy pokonać wszystkie matematyczne trudności rachunku.

89. Zastosowanie metody dzielności do badania ciał rzeczywistych.

Przechodząc od dynamiki abstrakcyjnéj do fizyki— od układów materyalnych posiadających tylko te własności, któreśmy im nadali przez określenie, do ciał rzeczywistych, których własności zbadać chcemy — napotykamy wiele zjawisk, nie dających się wyjaśnić jako proste zmiany konfiguracyi i ruchu.

Rozumié się, że jeżeli wyjdziemy z założenia, że ciała rzeczywiste są układami złożonemi z substancyi, odpowiadającéj pod każdym względem postawionym przez nas określeniom, to w takim razie możemy pójść i daléj i twierdzić, że wszystkie zjawiska są tylko zmianami konfiguracyi i ruchu, lubo nie jesteśmy w stanie wskazać rodzaju konfiguracyi i ruchu, przez który pojedyńcze zjawiska wyjaśnić się dają. Lecz w umiejętności ścisłéj wyjaśnienia podobne należy oceniać nie ze względu na zamiar, a ze względu na skutek. Konfiguracya i ruch układu są to rzeczy, które dają się zupełnie dokładnie opisać; jeżeli zatém wyjaśnienie zjawiska za pomocą konfiguracyi i ruchu układu materyalnego ma uchodzić za prawdziwe wzbogacenie naszego naukowego poznania, to konfiguracye, ruchy i siły muszą być dokładnie wyszczególnionemi, i musi być dowiedzioném, że nie tylko pozostają w zgodzie ze znanemi faktami, ale że i wystarczają do wyjaśnienia badanego zjawiska.

90. Zmienne, od których zależy dzielność.

I wtedy nawet, gdy zjawiska badane nie dadzą się wyjaśnić dynamicznie, możemy jednak stosować do nich z wielką korzyścią zasadę zachowania siły, jako kierowniczkę w naszych poszukiwaniach.

By zastosować tę zasadę, przyjmijmy naprzód za rzecz stale wiadomą, że ilość dzielności w układzie materyalnym zależy od stanu układu, tak, że pewnemu oznaczonemu stanowi odpowiada oznaczona wartość dzielności.

Pierwszą rzeczą jest wtedy określenie rozmaitych stanów układu. Mając do czynienia z ciałami rzeczywistemi, musimy stan ich okreslić nie tylko ze względu na konfiguracyę i ruch ich części widzialnych, lecz jeżeli mamy słuszne powody do przypuszczenia, że i konfiguracya i ruch cząstek niewidzialnych wpływa na zjawisko widzialne, musimy w takim razie znaleźć jeszcze metodę dla obliczenia dzielności pochodzącéj z tego źródła.

Tak np. ciśnienie, temperatura, potencyał elektryczny i skład chemiczny są wielkościami zmiennemi, których wartości służą do wyszczególnienia stanu ciała, i w ogólności dzielność ciała zależy od wartości tych i innych ilości zmiennych.

91. Wyrażenie dzielności przy pomocy zmiennych.

Następny krok w naszém badaniu polega na oznaczeniu, ile pracy działanie zewnętrzne wykonało na daném ciele, które z jednego dokładnie wyszczególnionego stanu przeprowadzoném zostało do innego.

Do tego celu wystarcza znajomość pracy, jaka jest konieczną, aby ciało z pewnego szczególnego stanu, który nazwijmy *stanem początkowym*, mogło być przeprowadzoném do innego jakiegokolwiek dokładnie oznaczonego stanu. Dzielność ciała w tym ostatnim stanie równa się dzielności, jaką ono posiadało w stanie początkowym, zwiększonéj o pracę konieczną do przeprowadzenia go ze stanu początkowego do uważanego. Fakt, że praca ta jest zawsze jedną i tą samą zupełnie niezależnie od tego, przez jakie stany pośrednie układ przechodził, jest podstawą całéj teoryi dzielności.

Ponieważ wszystkie zjawiska zależą od zmian dzielności ciała, a nie od jéj całkowitéj wartości, znajomość przeto dzielności w stanie początkowym układu, gdyby nawet była możebną, byłaby zbyteczną.

92. Teorya ciepła.

Najważniejszém zastosowaniem zasady zachowania dzielności jest zastosowanie jéj do badania istoty ciepła.

Dawniéj przyjmowano, że różnica między stanem ciała, gdy ono jest ciepłém, a stanem, gdy ono jest zimném, polega na obecności pewnéj substancyi, nazwanéj cieplikową (kaloryczną), która w ciele cieplejszém miała się znajdować w większéj ilości. Lecz doświadczenia Rumforda nad ciepłem wytwarzaném przez tarcie i Davy'go nad topnieniem lodu przez tarcie pokazały, że gdy uskutecznia się praca przy przezwyciężaniu tarcia, to ilość wytworzonego ciepła jest proporcyonalną do wykonanéj pracy.

Doświadczenia Hirna pokazały również, że gdy ciepło wykonywa pracę w machinie parowéj, to znika część ciepła proporcyonalna do wykonanéj pracy.

Joule bardzo starannie wymierzył pracę zużywaną podczas tarcia i ciepło, które się wówczas wytwarza. Znalazł on, że ilość ciepła potrzebna na podniesienie temperatury funta wody z 39^0 F. do 40^0 F. jest równoważuą 772 stopofuntom pracy w Manchester albo 24858 stopopoundalom.

Ztąd wypada, że ilość ciepła potrzebna do podniesienia o jeden stopień gramma wody przy 3^0 C. wynosi 42000000 ergów.

93. *Ciepło jest formą dzielności.*

Ponieważ ciepło może być wytworzoném, nie może być więc substancyą; ponieważ zaś, ile razy dzielność mechaniczna zostaje zużytą przez tarcie, tyle razy objawia się ciepło, i odwrotnie: ile razy machina zyskuje na dzielności mechanicznéj, tyle razy ciepło znika. Ponieważ daléj w jednym i drugim przypadku ilość dzielności zużytéj lub zyskanéj jest proporcyonalną do ilości zyskanego lub zużytego ciepła, to wnioskujemy ztąd, że ciepło jest formą dzielności.

Prócz tego mamy zasadę do utrzymywania, że małe cząstki ciała ciepłego znajdują się w stanie niezmiernie szybkiéj agitacyi, t. j. że każda cząstka porusza się bez przerwy bardzo prędko, lecz zmienia kierunek ruchu tak często, że doznaje tylko bardzo małéj albo prawie żadnéj zmiany miejsca.

Jeżeli ta okoliczność istotnie zachodzi, w takim razie część i to znaczna część dzielności ciała ciepłego musi mieć formę dzielnosci kinetycznéj.

Oznaczenie téj formy dzielności ciała ciepłego jest dla naszych celów rzeczą zbyteczną. Największe znaczenie ma ten fakt, że dzielność może być mierzoną w formie ciepła; a ponieważ każda forma dzielności może być zamienioną w ciepło, zyskujemy więc tym sposobem jedną z najbardziej odpowiednich metod do mierzenia dzielności.

94. *Dzielność mierzona jako ciepło.*

Gdy pewne substancye zostają wprowadzonemi w zetknięcie ze sobą, to powstają wtedy działania chemiczne: substancye kombinują się w odmienny sposób i w tém nowém ugrupowaniu posiadają odmienne własności chemiczne. Podczas tego procesu może być wykonaną praca skutkiem rozszerzenia się związku, jak to ma miejsce np. przy spalaniu prochu; może powstać strumień elektryczny, jak w stosie Volty, może wreszcie powstać ciepło, jak przy większéj liczbie działań chemicznych.

Dzielność wydatkowana w postaci pracy mechanicznéj daje się mierzyć wprost, albo zamienić w ciepło za pośrednictwem tarcia. Dzielność zużyta dla wytworzenia strumienia elektrycznego daje się mierzyć jako ciepło, jeżeli pozwolimy strumieniowi przebiegać po drucie takiéj formy, aby ciepło w drucie tym wytworzone łatwo wymierzyć się dało. Należy przy tém staranną zwrócić uwagę na to, aby dzielność rozchodząca się w przestrzeni pod postacią dźwięku lub ciepła promienistego była uwzględnioną w rachunku.

Dzielność pozostająca w związku wraz z tą, która się rozeszła, musi być równą dzielności początkowéj.

Andrews, Favre, Silbermann i inni wymierzyli ilość ciepła powstającą wtedy, gdy pewna ilość tlenu lub chloru łączy się z równoważną ilością innéj substancyi. Z tych mierzeń daje się obliczyć przewyżka dzielności ciał badanych w ich wolnym stanie początkowym nad dzielnością, jaką te ciała posiadają po połączeniu.

95. *Zadanie umiejętności.*

Pomimo wielkiéj liczby wybornych prac tego rodzaju, dziedzina dotychczas zbadana jest niezmiernie szczupłą w stosunku do nieograniczonéj rozmaitości i złożoności ciał napotykanych w przyrodzie.

Specyalném zadaniem, będącém w obecnym stanie umiejętności przedmiotem prac fizyków, jest oznaczenie ilości dzielności, jaką układ zyskuje lub traci, przechodząc ze stanu początkowego do innego jakiegokolwiek stanu.

96. *Dzieje nauki o dzielności.*

Pierwszym, który spostrzegł ważność wielkości, nazwanéj przez nas dzielnością kinetyczną, i który jéj nadał oddzielną nazwę, był Leibnitz. Iloczyn z massy przez kwadrat prędkości nazwał Leibnitz *siłą żywą* (vis viva). Siła żywa jest zatém podwojoną dzielnością kinetyczną.

Newton w swoich „Wnioskach z praw ruchu," mówiąc o związku między miarą pracy wykonanéj przez czynnik zewnętrzny a miarą pracy wydatkowanéj przez machinę lub inny układ materyalny, stawia następujące twierdzenie wykazujące rozległe zastosowanie trzeciego prawa ruchu:

„Jeżeli działanie czynnika zewnętrznego mierzy się iloczynem z jego siły przez prędkość, i oddziaływanie oporu mierzy się również iloczynem z prędkości każdéj części układu przez siłę oporową powstającą z tarcia, spójności, ciężaru i przyspieszenia, to działanie i oddziaływanie są zawsze równemi, zupełnie niezależnie od istoty i natury ruchu układu.“ Thomson i Tait pierwsi zauważyli, że twierdzenie to mieści w sobie całą naukę o dzielności.

Wyrazy: działanie i oddziaływanie, w wysłowieniu trzeciego prawa ruchu oznaczają siły, t. j. przedstawiają jedno i toż samo parcie z dwóch przeciwległych punktów widzenia.

W dopiéro zaś podanym ustępie wyrazom tym nadaje się nowe, zupełnie inne znaczenie przez to, że działanie i oddziaływanie mierzy się iloczynem z siły przez prędkość jéj punktu przyczepienia. Wedle tego określenia działanie czynnika zewnętrznego jest równoznacznem z miarą wykonanéj przezeń pracy. Toż samo rozumieć należy, gdy mówimy o sile machiny parowéj lub innego motoru. Wyraża się ona ogólnie liczbą idealnych koni potrzebną do wykonania pracy w tym samym czasie co machina i nazywa się siłą machiny wyrażoną w koniach.

Jeżeli chcemy pojedyńczém słowem wyrazić stopień pracy wykonanéj przez czynnik zewnętrzny, to nazywamy go siłą tego czynnika, rozumiejąc w tym razie przez siłę pracę wykonaną w ciągu jednostki czasu.

Wprowadzenie wyrazu „dzielność“ w znaczeniu ścisłém i naukowém dla wyrażenia ilości pracy, którą może wykonać układ materyalny, jest zasługą Younga. *)

97. Rozmaite formy dzielności.

Dzielność, jaką posiada ciało w skutek swego ruchu, nazywa się *dzielnością kinetyczną*.

---

*) „Lectures on Natural Philosophy.“ Lecture VIII.

Układ może posiadać także dzielność wskutek swojéj konfiguracyi, gdy siły jego są tego rodzaju, że wykonywa on pracę przeciwko oporowi zewnętrznemu, przechodząc jednocześnie do innéj konfiguracyi. Ta dzielność nazywa się *potencyalną*. Jeżeli np. podnosimy kamién do pewnéj wysokości po nad powierzchnię ziemi, to układ złożony z dwóch ciał: kamienia i ziemi, posiada dzielność potencyalną i jest zdolnym wykonać pewną ilość pracy podczas spadania kamienia. Ta dzielność potencyalna pochodzi ztąd, że kamień i ziemia przyciągają się wzajemnie, w skutek czego ten, kto podniósł kamień i oddalił go od ziemi, musiał zużyć pewną ilość pracy; gdy zaś kamień został podniesionym, to przyciąganie między nim a ziemią jest w stanie wykonać pracę podczas spadania kamienia. Ten rodzaj dzielności pochodzi zatém od pracy, jaką wykonałyby siły układu, gdyby jego części ustąpiły działaniu tych sił. Helmholtz w swojéj slynnéj rozprawie: „O zachowaniu siły“ (Berlin, 1847) nazwał tę dzielność „summą napięć,“ Thomson nazywa ją dzielnością statyczną (statical energy). Nazywają ją także dzielnością położenia (energy of position). Rankine nazwał ją dzielnością potencyalną (możliwą). Jest to nazwa bardzo szczęśliwie dobrana, albowiem nie tylko wyraża ten rodzaj dzielności, jakiéj układ istotnie jeszcze nie posiada, ale którą nabyć jest w stanie, lecz prócz tego pozostaje w związku z tém, co (z innych powodów) nazywa się funkcyą potencyalną.

Rozmaite formy dzielności, jakie spotykamy w układach materyalnych, dają się zaliczyć do jednéj z dwóch klass: dzielności kinetycznéj pochodzącéj z ruchu i dzielności potencyalnéj pochodzącéj z konfiguracyi.

Tak np. ciało ciepłe oddające ciepło swe ciału zimniejszemu, może wykonywać pracę, pobudzając to ostatnie do rozszerzania się przeciwko ciśnieniu. Układ materyalny, w którym ma miejsce niejednostajne rozmieszczenie temperatury, posiada zatém zdolność do wykonywania pracy czyli dzielność. Dzielność tę uważamy obecnie jako dzielność kinetyczną pochodzącą z ruchu najmniejszych części ciała ciepłego.

Proch posiada dzielność, gdyż zapalony jest zdolnym do wprawienia w ruch kuli działowéj. Dzielność prochu jest dzielnością chemiczną i pochodzi od władzy, jaką posiadają jego części składowe do nowego ugrupowania się w czasie wybuchu i do zajęcia bez porównania większéj przestrzeni. W obecnym stanie nauki chemicy przedstawiają działanie chemiczne jako zmianę w uporządkowaniu cząstek, powstającą pod wpływem sił dążących do wytworzenia téj zmiany. Z tego punktu widzenia dzielność chemiczna jest dzielnością potencyalną.

Powietrze ściśnięte w kolbie wiatrówki jest w stanie wyrzucić kulę. Dawniéj sądzono, że dzielność ściśniętego powietrza pochodzi od wzajemnego odpychania jego cząstek. Przyjmując to wyjaśnienie za prawdziwe, należy dzielność tę uważać za potencyalną. W nowszych jednak czasach powstała teorya, według któréj cząstki powietrza znajdują się w stanie ruchu; a ciśnienie powietrza jest wypływem uderzeń tych cząstek o ściany naczynia. Podług téj teoryi dzielność ściśniętego powietrza jest dzielnością kinetyczną.

Istnieją przeto liczne formy dzielności układu materyalnego, i w wielu przypadkach może być rzeczą wątpliwą, czy dzielność jest kinetyczną, czy potencyalną. Istota jednak dzielności jest zawsze jedną i tą samą, zupełnie niezależnie od formy, w jakiéj ją spotykamy. Ilość jéj daje się zawsze wyrazić jako dzielność ciała mającego oznaczoną massę i poruszającego się z oznaczoną prędkością.

ROZDZIAŁ SZÓSTY.

STRESZCZENIE.

98. Rzut oka na dynamikę abstrakcyjną.

Dotąd zajmowaliśmy się tą częścią zasad nauki o ruchu materyi, która daje się przedstawić w sposób dostatecznie elementarny, zgodnie z zadaniem téj książki.

Musimy jeszcze rozwinąć pogląd na związek pojedyńczych części téj nauki i na stosunek całości do innych części fizyki. To obecnie łatwiéj da się osiągnąć, aniżeli w samym początku naszego wykładu.

99. Kinematyka.

Zaczęliśmy od kinematyki, t. j. nauki o czystym ruchu. Pojęcia, jakie stosowaliśmy w téj części, były to pojęcia przestrzeni i czasu. Jedyny atrybut materyi, jaki się nam przedstawił, jest ciągłość jéj w przestrzeni i czasie,—innemi słowy fakt, że każda cząstka przestrzeni znajduje się w każdéj chwili w pewném *jedyném* miejscu i że zmiana miejsca odbywa się w ciągu pewnego przedziału czasu w skutek ruchu na drodze ciągłéj.

Siła, która wpływa na ruch ciała, i massa, od któréj zależy ilość siły konieczna do wytworzenia ruchu, nie uwzględniają się wcale w czystéj nauce o ruchu.

100. Siła.

W następnym rozdziale uważaliśmy siłę jako to, co zmienia ruch massy. Jeżeli uważamy tylko jedno pojedyńcze ciało, to badanie nasze pozwala nam przy pomocy obserwacyi ruchu tegoż, oznaczyć kierunek i wielkość siły wypadkowéj działającéj na ciało; badanie to jest przykładem i typem wszystkich badań przedsiębranych dla odkrycia i mierzenia sił fizycznych.

Należy to jednak uważać za proste zastosowanie określenia siły, a nie za nową prawdę fizyczną.

Podając określenia sił równych jako takich, które wytwarzają równe stopnie przyspieszenia w równych massach, i określenia równych mass jako takich, które doznają jednakowych przyspieszeń pod wpływem równych sił, znaleźliśmy: że te określenia równości prowadzą do następującéj prawdy fizycznéj: porównanie ilości materyi przy pomocy sił koniecznych dla udzielenia im danego przyspieszenia jest metodą prowadzącą zawsze do zgodnych wypadków zupełnie niezależnie od bezwzględnych wartośc sił i przyspieszeń.

101. *Parcie.*

Następny krok, jaki uczyniliśmy w nauce o sile, był ten, że z uważania siły działającéj na ciało doszliśmy do poznania, że siła jest tylko jedną stroną wzajemnego działania między dwoma ciałami, które N e w t o n nazwał działaniem i oddziaływaniem, a które my obecnie nazywamy parciem.

102. *Względność wiadomości dynamicznych.*

Cały nasz postęp do tego miejsca może być uważany jako stopniowe rozwinięcie nauki o względności wszystkich zjawisk fizycznych. Położenie musimy oczywiście uważać jako coś względnego, nie możemy bowiem położenia ciała opisać w inny sposób, jak wyrażając je przez stosunki. Używanie w zwykłéj mowie wyrazów „ruch“ i „spoczynek“ nie wyłącza wprawdzie tak zupełnie znajomości ich miary bezwzględnéj, ale przyczyna tego tkwi w tém, że przy używaniu podobném przypuszcza się, że ziemia jest nieruchomą.

Im jaśniejszemi stają się pojęcia nasze o przestrzeni i o czasie, tém wyraźniéj widzimy, że wszystko to, do czego stosuje się nasza doktryna dynamiczna, jest związaném w jeden systemat.

Początkowo mogliśmy mniemać, że jako istoty obdarzone samowiedzą, posiadamy bezwzględną znajomość dwóch koniecznych elementów naszego poznania, to jest miejsca, w którém się znajdujemy i kierunku, w którym się poruszamy; lecz mniemanie to, które niewątpliwie było mniemaniem wielu mędrców starożytnych, stopniowo ustępowało z umysłu badaczów.

W przestrzeni nie ma słupów granicznych; jedna część przestrzeni jest zupełnie taką samą, jak inna, tak, że nie możemy wiedziéć, gdzie jesteśmy. Znajdujemy się jakoby na spokojném morzu, wolném od wiatrów i fal, nie mając gwiazd nad sobą, bez kompasu i sondy, i nie możemy powiedziéć, w jakim poruszamy się kierunku. Nie posiadamy logu, którybyśmy wyrzucić mogli, aby przy pomocy niego wykonać obliczenie; możemy wprawdzie oznaczyć stopień naszego ruchu względem przedmiotów sąsiednich, lecz nie wiemy wcale, w jaki sposób przedmioty te poruszają się w przestrzeni.

103. Względność siły.

Nie możemy nawet powiedziéć, jaka siła działa na nas; możemy podać tylko różnicę zachodzącą między siłą działającą na jedną rzecz a siłą działającą na inną.

Wyraźny przykład tego mamy w codzienném doświadczeniu.

Ziemia wykonywa w ciągu roku jeden obrót około słońca znajdującego się w odległości 91520000 mil (angielskich) czyli $1{,}473.10^{13}$ centymetrów. Ztąd wynika, że na ziemię działa w kierunku do słońca siła, nadająca ziemi przyspieszenie w tymże kierunku wynoszące 0,019 stopy na sekundę, co stanowi prawie $^{1}/_{1680}$ natężenia siły ciężkości na powierzchni ziemi.

Siła działająca na ciało, równa $^{1}/_{1600}$ jego ciężaru, daje się łatwo mierzyć za pomocą znanych metod, szczególnie wtedy, gdy kierunek jéj w różnych godzinach dnia ma różne pochylenia do linii pionowéj.

Gdyby przyciąganie słońca działało tylko na zbitą część ziemi, a nie działało wcale na ciała ruchome, z któremi robimy doświadczenia, to wtedy ciało zawieszone na nitce i poruszające się wraz z ziemią, mogłoby okazać różnicę zachodzącą między działaniem słońca na ciało i działaniem na ziemię jako na całość.

Gdyby np. słońce przyciągało tylko ziemię, a nie przyciągało ciała zawieszonego, to w takim razie zawsze w czasie wschodu słońca punkt zawieszenia połączony stale z ziemią byłby przyciągany ku słońcu, gdy tymczasem na samo ciało zawieszone działałoby tylko przyciąganie ziemi, i w skutek tego nitka odchylałaby się od słońca, mianowicie dolny jéj koniec na długość równą $^{1}/_{1600}$ swéj całkowitéj długości. W czasie zachodu słońca nitka odchyliłaby się na taką samą długość od zachodzącego słońca. W ciągu zaś dnia nitka zajmowałaby coraz innę położenie, a różnica kierunku pionu w czasie wschodu i zachodu słońca łatwo dałaby się spostrzedz.

Lecz w rzeczywistości jest inaczéj. Przyciąganie działa jednakowo na wszystkie rodzaje materyi znajdującéj się w jednakowéj odległości od ciała przyciągającego. W czasie wschodu i zachodu słońca środek ziemi i ciało zawieszone znajdują się prawie w téj saméj odległości od słońca, a zboczenie pionu pochodzące od działania słońca wcale spostrzedz się nie daje. Przyciąganie słońca, działając jednostajnie na wszystkie ciała ziemskie, nie wywiéra żadnego wpływu na ich ruchy względne. Jedynie różnice w natężeniu i kierunku przyciągania działającego na rozmaite części ziemi, mogłyby objawiać swój skutek; lecz dla ciał umiarkowanie odległych różnice te są bardzo niewyraźnemi i występują dopiéro wyraźnie dla ciał bardzo wielkich, jak np. dla oceanu w postaci przypływów.

104. Obrót.

We wszystkiém, co mówiliśmy dotąd o ruchu ciał, przyjmowaliśmy milcząco, że przy porównaniu dwóch konfiguracyj układu możemy w konfiguracyi końcowéj poprowadzić prostą równoległą do prostéj znajdującéj się w konfiguracyi początkowéj, czyli innemi słowy przyjmowaliśmy, że są w przestrzeni pewne kierunki nieruchome, do których odnosimy inne kierunki podczas ruchu układu.

W astronomii za nieruchomą może być uważaną prosta poprowadzona od ziemi do gwiazdy; ruch bowiem względny ziemi i gwiazdy jest w ogólności tak drobnym w porównaniu z odległością między niemi, że zmiana kierunku prostéj łączącéj te dwa ciała jest nadzwyczaj małą nawet w ciągu stulecia. Ale oczywistą jest rzeczą, że wszystkie te kierunki, do których chcemy odnosić inne, muszą być danemi przez konfiguracyę układu materyalnego w przestrzeni, i że gdyby układ ten jako całość przesunął się, to i te początkowe kierunki nie dałyby się już odszukać.

Lubo oznaczenie prędkości bezwzględnéj ciała w przestrzeni jest niemożebném, można jednak oznaczyć, czy kierunek pewnéj linii w układzie materyalnym jest stałym lub zmiennym.

Tak np. można za pomocą dostrzeżeń na ziemi, nie odniesionych wcale do ciał niebieskich, oznaczyć, czy ziemia obraca się około osi, lub nie.

Dla geometrycznéj konfiguracyi ziemi i ciał niebieskich jest oczywiście jedno i to samo, czy ziemia obraca się około osi wewnątrz sklepienia nieba, czy téż niebo obraca się około ziemi. Odległości między ciałami ziemskiemi i kośmicznemi składającemi wszechświat, kąty, jakie tworzą linie łączące te ciała, t. j. wszystko to, co daje się oznaczyć bez pomocy zasad dynamicznych, nie ulegają żadnéj zmianie w skutek obrotu układu jako całości, jak to również ma miejsce przy ruchu wirowym ciała sztywnego połączonym z istotnym ruchem jego części. Z geometrycznego punktu widzenia np. systemat Kopernika, podług którego ziemia wiruje, nie ma, wyjąwszy prostotę, żadnéj wyższości nad innym jakimkolwiek systematem, podług którego ziemia znajduje się w spoczynku, a pozorne ruchy ciał niebieskich są ich ruchami istotnemi.

Idąc krok daléj i uwzględniając nawet zasady dynamiczne dla obrotu ziemi około osi, możemy kształt spłaszczony ziemi i równowagę oceanu i innych ciał wyjaśnić, nie tylko przyjmując obrót ziemi około osi, ale téż przypuszczając, że ziemia przyjęła swój kształt spłaszczony skutkiem siły działającéj wszędzie w kierunku od osi, z natężeniem rosnącém wraz z odległością od téj ostatniéj. Taka siła, działając w sposób jednakowy na wszystkie rodzaje materyi, wyjaśnia nie tylko spłaszczenie ziemi ale i warunki równowagi wszystkich ciał będących w spoczynku na ziemi.

Dopiéro w dalszym ciągu przy rozważaniu zjawisk w ciałach poruszających się względem ziemi jesteśmy już istotnie zmuszeni do przyjęcia obrotu ziemi około osi.

105. Oznaczenie przez Newtona bezwzględnéj prędkości obrotu.

Newton pierwszy wykazał, że bezwzględny ruch obrotowy ziemi musi się dać udowodnić za pomocą doświadczeń nad obrotem układu materyalnego. Jeżeli przy pomocy sznura zawiesimy na belce wiadro napełnione wodą, następnie skręcimy sznur tak, aby wiadro wprawioném zostało w ruch obrotowy około osi pionowéj, to woda zacznie obracać się z tą samą prędkością, co wiadro, tak że całkowity układ złożony z wody i wiadra obracać się będzie około osi tak jak ciało sztywne.

Woda w wirującém naczyniu podnosi się do góry u ścian naczynia, a w środku zostaje wciśniętą do wnętrza, zkąd wynika, że dla zmuszenia wody do poruszania się po kole konieczném jest wywarcie ciśnienia skierowanego ku osi. Wklęsłość powierzchni wody zależy od bezwzględnego ruchu obrotowego wody, a nie od jéj obrotu względnego. Że nie zależy n. p. od obrotu względnego odnośnie do wiadra, widać stąd, że gdy na samym początku doświadczenia obraca się samo wiadro, a woda znajduje się w spoczynku, gdy więc woda i naczynie są w ruchu względnym do siebie, to powierzchnia wody jest płaską i wtedy wiruje nie woda, lecz wiadro. Gdy zaś woda i wiadro wirują razem, ciała te są wtedy w ruchu względnym do siebie, a powierzchnia wody staje się wklęsłą, ponieważ woda wiruje.

Jeżeli zatrzymamy wiadro w ruchu, to powierzchnia wody pozostaje wklęsłą tak długo, jak woda wiruje, co pokazuje, że woda jest jeszcze w ruchu, lubo wiadro jest w spoczynku.

Doświadczenie to wypada zawsze jednakowo bez względu na to, czy obrót ma miejsce w kierunku ruchu wskazówek w zegarze, czy w kierunku odwrotnym, jeżeli tylko prędkość obrotu pozostaje tą samą.

Przypuśćmy teraz, że doświadczenie to robimy na biegunie północnym. Za pomocą odpowiedniego mechanizmu zegarowego wprawmy wiadro w ruch obrotowy w kierunku skazówek w zegarze lub w odwrotnym kierunku w ten sposób, aby prędkość tego ruchu była dokładnie stałą.

Jeżeli wiadro wykonywa jeden obrót w ciągu dwudziestu czterech godzin (gwiazdowych) w kierunku ruchu skazówek zegara zwróconego ku nam cyferblatem, to ono będzie wirowało względem ziemi, ale nie będzie wirowało względem gwiazd.

Jeżeli wstrzymamy ruch mechanizmu zegarowego, to wiadro będzie wirowało względem gwiazd, ale nie będzie wirowało względem ziemi.

Jeżeli nakoniec wiadro wykonywa jeden obrót w ciągu dwudziestu czterech godzin (gwiazdowych) w kierunku odwrotnym, to względem ziemi będzie ono wirowało z tą samą prędkością co i w pierwszym przypadku, ale będzie także wykonywało obrót względem gwiazd, mianowicie; prędkość względna obrotu jego w stosunku do gwiazd wyniesie jeden obrót na dwanaście godzin.

Jeżeli więc ziemia jest sama w spoczynku, a gwiazdy wirują około niéj, to kształt powierzchni wody w naczyniu powinien być takim samym w pierwszym i ostatnim przypadku; jeżeli zaś ziemia wiruje, to woda powinna wirować w ostatnim przypadku, a nie powinna w pierwszym, co poznamy po tém, że woda w ostatnim przypadku powinnaby stać wyżéj u ścian naczynia niż w pierwszym.

W rzeczywistości powierzchnia wody w żadnym z uważanych przypadków nie będzie wklęsłą: gdyż skutkiem działania siły ciężkości skierowanéj do środka ziemi, powierzchnia wody, podobnie jak powierzchnia morza jest wypukłą, a prędkość obrotu w naszém doświadczeniu nie jest dostatecznie wielką, aby powierzchnia mogła stać się wklęsłą. Wystarcza ona tylko do tego, aby powierzchnię uczynić w pierwszym przypadku nieco mniéj, w drugim nieco więcéj wypukłą od powierzchni morza. Lecz różnica kształtu powierzchni w jednym i drugim przypadku jest tak nieznaczną, że w obec naszych metod pomiarowych ten sposób okazania obrotu ziemi należy uważać za przedsięwzięcie zupełnie daremne.

106. Wahadło Foucault'a.

Najbardziéj zadawalniającą metodą urządzenia doświadczenia w celu podanym jest metoda Foucault'a.

W punkcie stałym zamieszczamy na drucie kulę ciężką w ten sposób, że w każdéj płaszczyznie pionowéj przechodzącéj przez punkt zawieszenia może ona wahać się na podobieństwo wahadła.

Przy wprawianiu wahadła w ruch należy szczególną zachować ostrożność, aby w najniższym punkcie wahania drut przechodził ściśle przez to położenie, które zajmuje wahadło w stanie spoczynku. Jeżeli wahadło przechodzi po za tém położeniem po jednéj stronie, to przy wahnięciu wstecznem przejdzie po za niém po drugiéj stronie i obracać się będzie około pionowéj, czego starannie unikać należy, jeżeli chcemy wyłączyć wszystkie ruchy obrotowe w jedną lub drugą stronę.

Uważmy moment kątowy wahadła około linii pionowéj przechodzącéj przez punkt przytwierdzenia.

W chwili gdy wahadło przechodzi przez pionową, moment kątowy względem téj pionowéj jest zerem.

Siła ciężkości działa zawsze równolegle do téj pionowéj, tak że nie może wytworzyć momentu kątowego około téj ostatniéj jako osi. Napięcie drutu działa zawsze ku punktowi przytwierdzenia, tak że nie może wytworzyć momentu kątowego około pionowéj.

Tym sposobem wahadło nie może wcale nabyć momentu kątowego względem pionowéj przechodzącéj przez punkt zawieszenia.

Gdy przeto wyprowadzimy wahadło z położenia pionowego, to płaszczyzna pionowa przechodząca przez środek kuli i punkt zawieszenia nie może wirować; w przeciwnym bowiem razie wahadło posiadałoby moment kątowy względem pionowéj.

Przypuśćmy teraz, że doświadczenie to wykonywamy na biegunie północnym. Płaszczyzna wahań wahadła zostanie bezwzględnie stałą w swem położeniu, tak, że gdy ziemia wiruje, obrót jéj da się udowodnić.

Dość bowiem nakréslić na ziemi linię równoległą do płaszczyzny wahań wahadła i po pewnym czasie porównać położenie téj linii z położeniem płaszczyzny wahania.

Ponieważ takie wahadło w odpowiedni sposób zawieszone, może wahać się przez pewną liczbę godzin, łatwo więc stwierdzić, czy położenie płaszczyzny wahania jest stałém względem ziemi, co powinnoby zachodzić, gdyby ziemia była w spoczynku, czy też jest stałém względem gwiazd, co być powinno, jeżeli one nie obracają się około ziemi.

Dla prostoty przypuściliśmy, że doświadczenie zostało urządzoném na biegunie północnym. Lecz niekoniecznie trzeba udać się na biegun, aby stwierdzić obrót ziemi. Jedyném miejscem, w którém doświadczenie nie daje żadnéj wskazówki. jest równik.

W każdém innèm miejscu wahadło wskazuje prędkość obrotu ziemi względem linii pionowéj tego miejsca. Jeżeli płaszczyzna wahań wahadła przechodzi w pewnéj chwili przez gwiazdę wschodzącą lub zachodzącą, znajdującą się w blizkości poziomu, to płaszczyzna ta stale przechodzić będzie przez gwiazdę tak długo, jak długo ona widzialną jest nad poziomem, co znaczy, że część pozioma ruchu pozornego gwiazdy stojącéj nad poziomem miejsca jest równą prędkości pozornéj obrotu płaszczyzny wahania wahadła.

Dostrzeżenia pokazały, że obrót pozorny płaszczyzny wahania na południowéj półkuli odbywa się w kierunku przeciwnym, a porównanie prędkości pozornych obrotu wahadła w rozmaitych miejscach doprowadziło do oznaczenia czasu, jakiego w istocie potrzebuje ziemia do wykonania całkowitego obrotu. Rezultat ten osiągnięto bez pomocy dostrzeżeń astronomicznych. Średnia wartość tego czasu wyprowadzona z tych doświadczeń przez G a l b r a i t h a i H o u g h t o n a i podana w ich podręczniku astronomii wynosi 23 godziny 53 minuty 37 sekund. Prawdziwa wartość czasu obrotu ziemi 23 godziny 56 minut i 4 sekundy średniego czasu słonecznego.

107. *Materya i dzielność.*

Wszystko, co wiemy o materyi, odnosi się do szeregu zjawisk, w których dzielność z jednéj części materyi przenosi się na inną dopóty, dopóki w pewnéj części tego szeregu nie podziała na nasze ciało i nie staniemy się świadomymi pewnego wrażenia.

Proces umysłowy związany z temi wrażeniami umożliwia nam poznanie warunków tego wrażenia i wyśledzenia go aż do przedmiotów, nie będących częściami nas samych; w każdym zaś przypadku prowadzi do uznania stałego faktu istnienia działania wzajemnego pomiędzy ciałami. Usiłowaliśmy w téj pracy opisać to wzajemne działanie. Rozpatrywane z rozmaitych punktów widzenia nazywa się ono siłą, działaniem i oddziaływaniem, parciem; to zaś z niego, co bezpośrednio występuje w zjawisku, jest zmianą ruchu ciał, pomiędzy któremi ono zachodzi.

Process, przy pomocy którego parcie wytwarza zmianę ruchu, nazywa się pracą; praca, jak to już pokazaliśmy, może być uważaną jako przenoszenie dzielności z jednego ciała lub układu do innego.

Materya przeto jest dla nas to, co przyjmuje dzielność od innéj materyi i co znowu ze swéj strony innéj materyi też dzielność udzielić może.

Podobnie dzielnością dla nas jest to, co we wszystkich zjawiskach przyrody przechodzi ciągle z jednéj części materyi na inną.

108. Oznaka istnienia substancyi materyalnéj.

Dzielność może istnieć jedynie w połączeniu z materyą. Ponieważ w przestrzeni pomiędzy słońcem i ziemią promienie światła i ciepła, wychodzące ze słońca zanim dosięgną ziemi, posiadają dzielność, któréj ilość daje się mierzyć na mile sześcienne, przeto dzielność ta musi należyć do materyi, istniejącéj w przestrzeniach międzyplanetarnych; ponieważ daléj dowiadujemy się o istnieniu najodleglejszych gwiazd jedynie przy pomocy światła, które do nas przenika, wnosimy więc ztąd, że materya roznosząca światło jest rozpostartą w całym widzialnym wszechświecie.

109. Dzielność nie daje się utożsamiać.

Nie możemy utożsamić pewnéj oznaczonéj części dzielności i śledzić za nią we wszystkich jéj przemianach.

Bytu indywidualnego, takiego, jaki przypisujemy pojedyńczym częściom materyi, dzielność ta nie ma.

Tranzakcye wszechświata materyalnego odbywają się, że tak powiemy, według systemu kredytowego. Każda tranzakcya polega na przenoszeniu takiéj a takiéj ilości kredytu t. j. dzielności, od jednego ciała do drugiego. Ten akt przeniesienia albo zapłaty nazywa się pracą. Dzielność przeniesiona podczas tego aktu nie zachowuje żadnych cech wyłącznych, po których możnaby ją znowu poznać lub utożsamić wtedy, gdy z jednéj formy przechodzi w inną.

110. Bezwzględna wartość dzielności ciała jest nieznaną.

Dzielność układu materyalnego może być oznaczoną jedynie w sposób względny.

Dzielność ruchu części układu względem środka jego massy może być wprawdzie oznaczoną dokładnie, lecz całkowita dzielność układu składa się z téj dzielności i jeszcze z dzielności massy równéj massie całego układu i poruszającéj się z prędkością środka massy układu. Ta ostatnia prędkość może być oznaczoną jedynie w odniesieniu do ciała będącego ciałem zewnętrznem dla układu, wartość jéj przeto wypaść może rozmaicie, stosownie do ciała obranego za początek.

Wartość dzielności kinetycznéj układu materyalnego zawiéra więc część, któréj wielkość wyznaczyć się jedynie daje przez dowolny wybór początku. Jedynym punktem w wyborze którego nie mogłaby zachodzić żadna dowolność, byłby środek massy wszechświata materyalnego, lecz o położeniu i ruchu tego punktu nic nie wiemy.

111. Dzielność utajona.

Lecz jeszcze z innego względu dzielność układu materyalnego jest wielkością nieoznaczoną. Nie możemy nigdy układu przeprowadzić do takiego stanu, w którym nie posiada wcale dzielności; i dzielność ta, jaka układowi nigdy odebraną być nie może, musi pozostać niepostrzeżoną przez nas. Możemy bowiem spostrzedz dzielność tylko wtedy, gdy ona do układu wstępuje, albo zeń występuje.

Musimy przeto dzielność układu materyalnego uważać jako wielkość, któréj przyrost lub zmniejszanie się możemy oznaczać wtedy, gdy układ z jednego określonego stanu przechodzi do innego. Bezwzględna wartość dzielności w stanie początkowym układu jest nam nieznaną; znajomość jéj zresztą nie miałaby dla nas żadnéj wartości, albowiem wszystkie zjawiska zależą tylko od zmian dzielności, a nie od jéj wielkości bezwzględnéj.

112. *Zupełne badanie dzielności zawiéra w sobie całą fizykę.*

Badanie rozmaitych form dzielności: dzielności ciężkościowéj, elektromagnetycznéj, cząsteczkowéj, cieplnéj i t. p. wraz z warunkami przechodzenia ich z jednéj formy w drugą i ciągłém jéj znikaniu przy wykonywaniu pracy, stanowi całą fizykę, o ile ta rozwija się w formie dynamicznéj pod rozmaitemi nazwami, jako to: astronomia, nauka o elektryczności i o magnetyzmie, optyka, teorya stanów skupienia, termodynamika i chemia.

ROZDZIAŁ SIÓDMY.

WAHADŁO i CIĘŻKOŚĆ.

113. *Ruch jednostajny po kole.*

Niechaj M będzie ciało poruszające się po kole z prędkością V.

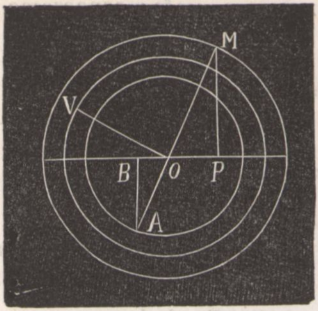

Fig. 11.

Niechaj OM=r będzie promieniem tego koła.

Kierunkiem prędkości ciała M będzie styczna do koła. Jeżeli ze środka koła poprowadzimy prostą OV równoległą do tego kierunku i o długości równéj wielkości odcinka przebieżonego w jednostce czasu przez ciało, to będzie OV=V.

Przyjmijmy punkt O za początek diagramu prędkości, to punkt V oznaczać będzie prędkość ciała w M.

Ponieważ punkt M porusza się po kole, to i punkt V opisze okrąg koła, a prędkość punktu V tak się będzie miała do prędkości punktu M, jak OV do OM.

Jeżeli więc poprowadzimy prostą OA będącą przedłużeniem prostéj MO, a więc równoległą do kierunku ruchu punktu V, i uczynimy długość OA równą trzeciéj proporcyonalnéj do dwóch linij OM i OV, punkt zaś O przyjmiemy za początek diagramu stopnia przyspieszenia, to punkt A przedstawiać będzie prędkość punktu V, albo co na jedno wychodzi, stopień przyspieszenia punktu M.

A zatém, gdy ciało porusza się z prędkością jednostajną po kole, to przyspieszenie jego jest skierowaném do środka koła i jest trzecią proporcyonalną do promienia koła i prędkości ciała.

Siła działająca na ciało M jest równą iloczynowi z tego przyspieszenia przez massę ciała; oznaczając ją przez F, mieć będziemy:

$$F=\frac{M.V^2}{r}$$

114. Siła odśrodkowa.

Siła F jest to siła, jaka musi działać na ciało, by ono pozostawało na okręgu koła o promieniu r i poruszało się z prędkością V.

Siła ta jest skierowaną do środka koła.

Jeżeli przykładamy tę siłę do ciała zawieszonego na nitce, to nitka znajdować się będzie w stanie napięcia. Osobie trzymającéj za drugi koniec nitki zdawać się będzie, że napięcie to jest skierowaném ku ciału M, w ten sposób, jakoby ciało M miało dążność do oddalenia się od środka koła, po którém się porusza.

Z tego względu siłę tę nazywają często siłą *odśrodkową.*

Siłę, która istotnie działa na ciało, nazywamy siłą *dośrodkową*, ponieważ jest skierowaną do środka koła. W niektórych pismach popularnych siły odśrodkową i dośrodkową opisują jako siły wprost przeciwne i będące w równowadze; w istocie zaś rzeczy są one tylko rozmaitemi postaciami, pod jakiemi przedstawia się jedno i to samo parcie.

115. Okres.

Czas, w ciągu którego ciało przebiega cały okrąg koła, nazywamy okresem albo peryodem. Jeżeli π jest stosunkiem okręgu koła do średnicy, równym jak wiadomo 3,14159..., to długość okręgu koła o promieniu r jest równą $2.\pi.r$; jeżeli więc czas potrzebny na przebieżenie téj długości z prędkością jednostajną V oznaczymy przez S, to będzie

$$2.\pi.r=V.T$$

Ztąd wynika, że

$$F=4.\pi.^2M.\frac{r}{T^2}$$

Prędkość ruchu kołowego wyrażamy często liczbą obrotów w ciągu jednostki czasu. Niechaj ta liczba będzie n, wtedy będzie:

$$n.T=1$$

$$F=4\pi.^2M.r.n.^2$$

116. Wahania harmoniczne proste.

Jeżeli w tym czasie, w którym punkt M opisuje koło z prędkością jednostajną, inny punkt P porusza się po stałéj średnicy koła w ten sposób, że znajduje się zawsze w spodku prostopadłéj wyprowadzonéj z punktu M do téj średnicy, to mówimy wtedy, że punkt P odbywa wahania (drgania) harmoniczne proste.

Promień r koła nazywamy *szerokością* (amplitudą) *wahania.*

Okres punktu M nazywa się *okresem wahania.*

Kąt, jaki kierunek prostéj OM tworzy z kierunkiem dodatnym stałéj średnicy, nazywamy *fazą* wahania.

117. O sile działającéj na ciało wahające się.

Jedyna różnica zachodząca między ruchem ciała M i ciała P jest ta, że punkt M posiada ruch pionowy w połączeniu z ruchem poziomym, gdy tymczasem ciało P posiada ten ostatni ruch poziomy. Prędkości i przyspieszenia obu ciał różnią się przeto jedynie tą pionową częścią odpowiednich prędkości i przyspieszenia punktu M.

Przyspieszenie punktu P jest więc składową poziomą przyspieszenia punktu M, a ponieważ przyspieszenie punktu M przedstawia prosta OA znajdująca się na przedłużeniu prostéj MO, to przyspieszenie punktu P przedstawiać będzie prosta OB, jeżeli B jest spodkiem prostopadłéj wyprowadzonéj z punktu A do średnicy pozioméj. Z podobieństwa trójkątów OMP i OAB wynika

$$OM : OA = OP : OB.$$

Lecz $OM = r$, $OA = -4\pi.^2\frac{r}{T^2}$ przeto:

$$OB = -\frac{4\pi^2}{T^2}.OP = -4\pi.^2 n^2.OP$$

A zatém: przyspieszenie wahań harmonicznych prostych, jest zawsze skierowaném do środka wahań i równa się odległości od tego punktu pomnożonéj przez $4\pi.^2n^2$. Jeżeli P jest massą ciała wahającego się, to siła działająca na ciało w chwili, gdy ono znajduje się w odległości x od punktu O jest równą: $4.\pi.^2n.^2P.x$.

Wynika ztąd, że na ciało odbywające wahania harmoniczne proste po linii prostéj działa siła zmieniająca się w ten sam sposób, w jaki zmienia się odległość ciała wahającego się od środka wahań; wielkość téj siły zależy tylko od téj odległości, od massy ciała, od kwadratu z liczby wahań wykonywanych w ciągu jednostki czasu, ale jest niezależną od szerokości wahań.

118. Wahania (drgania) równoczasowe.

Ztąd wynika, że gdy na ciało poruszające się po linii prostéj działa siła skierowana stale do stałego punktu téj prostéj zmieniająca się w ten sam sposób, w jaki zmienia się odległość od stałego punktu, to ciało wykonywać będzie wahania harmoniczne proste, których okres jest zupełnie niezależnym od szerokości wahań.

Jeżeli dla pewnego szczególnego rodzaju przemieszczenia ciała n. p. dla obrotu około osi, siła dążąca do przywrócenia ciała do danego położenia, zmienia się w ten sam sposób, w jaki zmienia się przemieszczenie, to ciało wykonywać będzie wahania harmoniczne proste, których okres jest niezależnym od szerokości.

Wahania tego rodzaju, wykonywane zawsze w jednakim czasie, niezależnie od szerokości nazywamy wahaniami równoczasowemi (izochronicznemi).

119. Dzielność potencyalna ciała wahającego się.

Prędkość ciała w chwili przejścia przez punkt równowagi jest równą prędkości ciała poruszającego się po kole t. j. $V=2.\pi.r.n$, gdzie r jest szerokością wahania, a n liczbą podwójnych wahań w ciągu sekundy.

Dzielność kinetyczna ciała wahającego się w punkcie równowagi będzie przeto równą

$$\frac{1}{2}M.V^2=2.\pi.^2M.r.^2n^2,$$

gdzie M oznacza massę ciała.

W największém odsunięciu, dla którego $x=r$, prędkość a więc i dzielność kinetyczna ciała jest zerem. Zmniejszaniu się dzielności kinetycznéj musi odpowiadać równy przyrost dzielności potencyalnéj. Jeżeli więc dzielność potencyalną liczyć będziemy od téj konfiguracyi, w któréj ciało znajduje się w punkcie równowagi, to dzielność potencyalna ciała w chwili gdy ono znajduje się w odległości r od tego punktu musi być równą $2\pi.^2M.n.^2r^2$.

Taką jest dzielność potencyalna ciała wahającego się równoczasowo i wykonywającego *n* wahnięć podwójnych w ciągu sekundy, wtedy, gdy ono znajduje się w spoczynku w odległości r od punktu równowagi. Ponieważ dzielność potencyalna nie zależy od ruchu, tylko od położenia, to możemy przyjąć jéj wartość równą $2\pi^2 M.n.^2 x^2$, gdzie x oznacza odległość od punktu równowagi.

120. Wahadło proste.

Wahadło proste składa się z małego ciała ciężkiego nazwanego soczewką wahadłową, zawieszonego w stałym punkcie na cienkiéj nitce o długości niezmiennéj. Soczewkę bierze się zwykle tak małą, aby jéj ruch mógł być uważanym jako ruch cząstki materyalnéj, a nitkę tak cienką, aby można pominąć jéj massę i ciężar. Soczewkę wprawia się w ruch tak, aby wahała się w płaszczyznie pionowéj i odchylała się na mały kąt od położenia pionowego. Droga jéj jest łukiem kołowym, którego środek znajduje się w punkcie zawieszenia, a promieniem łuku jest długość nitki, którą oznaczmy przez l.

Niechaj O będzie punktem zawieszenia, OA długością wahadła w położeniu pionowém. Soczewka, przeszedłszy do punktu M, znajduje się wyżéj niż w punkcie A o wielkość

$$AP = \frac{(AM)^2}{AB},$$

gdzie AM jest cięciwą łuku AM, AB zaś równa się 2 l.

Jeżeli M jest massą soczewki, g zaś natężeniem siły iężkości, to M.g jest ciężarem soczewki; praca wykonana w czasie jéj ruchu od A do M wbrew sile ciężkości jest równą M.g. AP. Jestto więc dzielność potencyalna soczewki w punkcie M, jeżeli założymy, że dzielność soczewki w punkcie A jest równą zeru.

To wyrażenie dzielności możemy jeszcze napisać w sposób następujący:

$$\frac{M.g}{2.l}(AM)^2$$

Dzielność potencyalna soczewki w czasie przemieszczenia na pewien łuk rośnie proporcyonalnie do kwadratu z cięciwy tego łuku.

Jeżeli by dzielność ta rosła proporcyonalnie do kwadratu z samego łuku opisywanego przez soczewkę, to wahania byłyby dokładnie równoczasowemi. Lecz ponieważ dzielność rośnie wolniéj niż kwadrat z łuku, to okres wahania będzie dłuższym dla większéj szerokości.

W przypadku wahnięć bardzo małych, możemy pominąć różnicę między łukiem i cięciwą; oznaczając więc długość łuku przez x, mieć będziemy dla dzielności potencyalnéj wzór następujący:

$$\frac{M.g}{2.l}.x^2$$

Pokazaliśmy wyżéj, że dla wahań harmonicznych dzielność potencyalna jest równą:

$$2.\pi.^2 M.n.^2 x^2$$

Porównywając te dwa wyrażenia, otrzymujemy po łatwém przekształceniu:

$$g = 4.\pi.n.^2 l$$

gdzie g jest natężeniem siły ciężkości, π stosunkiem okręgu koła do średnicy, n liczbą wahnięć wahadła w jednostce czasu i l długością wahadła.

121. *Wahadło sztywne.*

Gdybyśmy mogli zbudować wahadło o tak małéj soczewce i o tak cienkiéj nitce, aby w przypadku, gdy idzie o cele praktyczne, mogło ono uchodzić za wahadło proste, to byłoby łatwo za pomocą téj metody oznaczyć liczbę g. Lecz soczewki wszystkich wahadeł rzeczywistych mają znaczną wielkość, a dla utrzymania niezmiennéj długości wahadła musimy soczewkę łączyć z punktem zawieszenia za pomocą mocnego pręta którego massy pominąć nie można. Zawsze jednak można wskazać długość wahadła prostego, którego wahania odbywałyby się w zupełnie taki sam sposób, w jaki odbywają się wahania danego wahadła urządzonego w sposób dowolny.

Całkowity rozbiór tego przedmiotu doprowadziłby nas do rachunków przekraczających zakres téj pracy. Możemy jednakże bez rachunku dojść do najważniejszego rezultatu w sposób następujący:

Ruch ciała sztywnego jest zupełnie oznaczonym, gdy znamy ruch środka jego massy i ruch ciała około tego środka.

Siła konieczna do wytworzenia danéj zmiany w ruchu środka massy zależy tylko od massy ciała (ustęp 63).

Moment konieczny do wytworzenia danéj zmiany w prędkości kątowéj około środka massy zależy od rozmieszczenia massy i wzrasta wraz z odległością rozmaitych części ciała od środka massy.

Z dwóch cząstek sztywnie połączonych ze sobą utwórzmy układ w ten sposób, aby summa obu mass równała się massie wahadła materyalnego, aby środek ich massy przypadał w samym środku massy wahadła i aby ich odległości od środka były takiemi, że potrzeba pary sił o tym samym momencie dla wytworzenia czy to danego ruchu obrotowego około środka massy nowego układu, czy to ruchu wahadła około tegoż środka. Wtedy to ten nowy układ będzie dynamicznie równoważnym danemu układowi w tém, co się tyczy ruchów w oznaczonéj płaszczyznie. Innemi słowy, jeżeli oba układy wprawimy w ruch w sposób jednakowy, to i siły potrzebne do wytworzenia tego ruchu będą w obu przypadkach jednakowemi. Ponieważ massy obu cząstek mogą być w dowolnym stosunku, byleby tylko ich summa równała się massie wahadła, ponieważ dalej linia je łącząca może mieć kierunek dowolny, byleby przechodziła tylko przez środek massy wahadła, to możemy cząstki tak wybrać aby jedna z nich odpowiadała danemu punktowi wahadła n. p. punktowi zawieszenia P. Massa téj cząstki, jak również położenie drugiéj cząstki w Q, są wtedy zupełnie oznaczonemi. Położenie drugiego punktu Q nazywamy wtedy środkiem wahań.

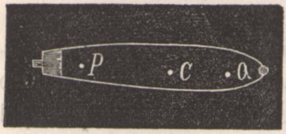

Fig. 13.

Jeżeli przeto w układzie dwóch cząstek jedna z nich P pozostaje stale przytwierdzoną, druga zaś Q może wahać się pod wpływem siły ciężkości, to mamy wahadło proste. Albowiem cząstka P działa jak punkt zawieszenia, a cząstka Q znajduje się zawsze w niezmiennéj odległości od niéj, tak, że połączenie obu cząstek jest zupełnie takiém samém, jak gdyby one były połączone nitką o długośc równéj $l = PQ$.

Wahadło dowolnéj formy waha się więc zupełnie tak samo, jak wahadło proste, którego długość jest równą odległości między punktem zawieszenia i środkiem wahań.

122. *Odwrócenie wahadła.*

Przyjmijmy, że układ dwóch cząstek zostaje odwróconym, t. j. że cząstka Q staje się punktem zawieszenia, a cząstka P może się wahać. Otrzymujemy wtedy wahadło proste o téj saméj długości co poprzednio. Wahania jego będą się odbywały w tym samym czasie. Dynamicznie zaś, jest ono równoznaczném z wahadłem zawieszoném w środku wahań.

Gdy więc odwrócimy wahadło i zawiesimy je w środku wahań, to wahania będą miały ten sam okres, co poprzednio, i odległość między punktem zawieszenia i środkiem wahań równać się będzie długości wahadła prostego o tym samym okresie.

W ten sposób kapitan Kater oznaczył długość wahadła prostego sekundowego. Zbudował on wahadło, które mogło wahać się na dwóch ostrzach znajdujących się na niém na przeciwległych stronach środka massy i w *nierównych* odległościach od tego środka. Przez odpowiednie ich przesuwanie doszedł Kater do tego, że czas wahania był ten sam bez względu na to, czy jedno, czy drugie ostrze było punktem zawieszenia. Długość odpowiedniego wahadła prostego oznaczył, wymierzywszy odległość między obu ostrzami.

123. *Przykład wahadła Katera.*

Zasada wahadła Kater'a daje się wyjaśnić za pomocą bardzo prostego i uderzającego doświadczenia. Przez deszczułkę dowolnego kształtu (Fig. 14), przetknijmy w blizkości brzegu kawałek drutu i zawieśmy ją w płaszczyznie pionowéj, trzymając drut za oba końce palcem wielkim i wskazującym. Następnie na drucie okręćmy w ten sposób nitkę z zawieszoną na niéj małą kulką, aby kulka wisiała tuż przy deszczułce.

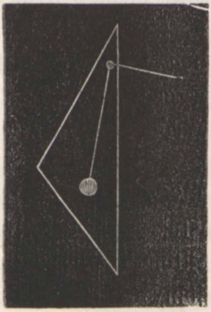

Fig. 14.

Nadajmy teraz ręce w któréj trzymamy drut, ruch poziomy w płaszczyznie deszczułki, i zauważmy, czy deszczułka porusza się względem kuli naprzód lub wstecz. Następnie zmieniajmy długość nitki tak długo, aż kula i deszczułka nie zaczną się poruszać razem. Zauważmy wtedy punkt deszczułki odpowiadający środkowi kuli i przytwierdźmy nitkę do drutu. Trzymając drut za oba końce i poruszając nim w sposób dowolny w płaszczyznie deszczułki, spostrzeżemy, ze kula nie opuści już miejsca oznaczonego na deszczułce, jakkolwiek prędkim byłby ten ruch i nieprawidłowym.

Z tego względu ten punkt nazywa się *środkiem wahań*, ponieważ właśnie wtedy, gdy deszczułka waha się około drutu, wahania te odbywają się tak, jak gdyby ona składała się z tylko jednéj cząstki znajdującéj się w tym punkcie.

Punkt ten nazywa się także *środkiem uderzenia* dla tego, że gdy deszczułka jest w spoczynku, a drutowi nadajemy nagle ruch poziomy, to deszczułka zaczyna wirować około tego punktu jak około środka.

124. Oznaczenie natężenia siły ciężkości.

Najprostszą metodą oznaczenia ilości g jest niewątpliwie metoda polegająca na oznaczeniu prędkości nabytéj w ciągu sekundy czasu przez ciało swobodnie spadające. Lecz jest rzeczą trudną robienie dostrzeżeń nad ruchem ciał, gdy ich prędkość wynosi 981 centymetrów na sekundę; przytém doświadczenia należało by robić w naczyniu pozbawionem powietrza, gdyż opór stawiany przez powietrze tak szybkiemu biegowi jest bardzo wielkim w porównaniu z ciężarem ciała spadającego.

Doświadczenie z wahadłem jest o wiele więcéj zadawalającém. Jeżeli łuk wahań uczynimy bardzo małym, to ruch soczewki będzie tak powolnym, że opór powietrza mieć będzie tylko bardzo słaby wpływ na czas trwania wahań. W dokładnych doświadczeniach wahadło waha się w naczyniu szczelnie zamkniętem, z którego wyciągnięto powietrze.

Zresztą wahadło wprawione w ruch może kołysać się setki i tysiące razy, zanim rozmaite opory, na które jest wystawioném, zmniejszą szerokość wahań do tego stopnia, że te ostatnie dostrzédz się już nie dadzą.

Dostrzeżenie, jakie istotnie wykonać należy, polega nie na uchwyceniu początku i końca wahnięcia, a na oznaczeniu czasu trwania szeregu setek wahnięć, zkąd oznaczyć już można czas trwania pojedyńczego wahnięcia.

Spostrzegacz uwalnia się od trudu oznaczenia przez bezpośrednie liczenie całkowitéj liczby wahnięć, używając poniżéj opisanéj metody, przez którą mierzenie w mowie będące staje się jedném z najdokładniejszych w fizyce praktycznéj.

125. Metoda obserwacyi.

Po za wahadłem do doświadczenia użytém stawia się zegar wahadłowy w ten sposób, że gdy oba wahadła mają położenie pionowe, to patrząc przez lunetę ustawioną w pewnéj odległości od zegaru spostrzeżemy, że soczewka albo inna część wahadła doświadczalnego zakrywa białą plamę zrobioną na wahadle zegarowém.

Od czasu do czasu obserwują się przejścia gwiazd przez południk i na téj zasadzie oblicza się chód zegaru w czasie średnim słonecznym.

Następnie wprawia się w ruch wahadło doświadczalne i oba wahadła obserwują się przez lunetę. Założmy, że czas trwania pojedyńczego wahnięcia wahadła doświadczalnego nie jest ściśle równym czasowi jednego wahnięcia wahadła zegarowego, lecz nieco większym.

Spostrzegacz widzi wtedy, że wahadło zegarowe wyprzedza coraz bardziéj wahadło doświadczalne, aż nakoniec to ostatnie zakrywa białą plamę w chwili przejścia przez położenie pionowe. Obserwuje się chwila tego zakrycia i zapisuje jako chwila pierwszego spotkania dodatnego.

Wahadło zegarowe w dalszym ciągu wyprzedza wahadło doświadczalne i po upływie pewnego czasu oba wahadła w téj saméj chwili przechodzą przez położenie pionowe, poruszając się w kierunkach przeciwnych. Ta chwila jest chwilą pierwszego spotkania odjemnego. Po upływie takiego samego przeciągu czasu ma miejsce drugie spotkanie dodatne i t. d.

W metodzie téj sam zegar liczy liczbę N wahnięć swego wahadła pomiędzy następującemi po sobie spotkaniami. W ciągu tego czasu wahadło doświadczalne wykonało o jedno wahnięcie mniéj, niż wahadło zegarowe. Czas trwania jednego wahnięcia wahadła doświadczalnego będzie przeto równym $\frac{N}{N-1}$ sekundom czasu zegarowego.

Jeżeli spotkanie nie ma miejsca dokładnie, lecz wahadło zegarowe przy jedném przejściu przez położenie pionowe przechodzi nieco wcześniéj, a przy następném nieco późniéj niż wahadło zegarowe, to spostrzegacz przy pewnéj wprawie łatwo będzie mógł ocenić, w jakim czasie między obu przejściami oba wahadła miały jednakową fazę.

W ten sposób można epokę spotkań ocenić ze ścisłością dochodzącą do ułamkowych części sekundy.

126. *Ocenienie błędu.*

Wahadło doświadczalne kołysze się znaczną liczbę godzin, tak, że w całkowitym czasie, w ciągu którego robimy doświadczenie, zawiéra się dziesięć tysięcy lub więcéj wahnięć.

Obliczając czas trwania jednego wahnięcia, możemy zrobić błąd wynoszący nawet całą sekundę w skutek mylnego zapisywania czasu spotkań, lecz ten błąd może być ostatecznie niezmiernie małym, jeżeli doświadczenie w dalszym ciągu prowadzić będziemy.

Jeżeli bowiem zaobserwujemy pierwsze i *n*-e spotkanie i znajdziemy, że one są oddzielonemi od siebie przedziałem czasu równym N sekundom zegaru, to wahadło doświadczalne opóźniło się względem zegaru o n wachnięć i zrobiło N—n wachnięć w ciągu N sekund. Trwanie przeto jednego wahnięcia wynosi $T = \frac{N}{N-n}$ sekund zegarowych.

Przyjmijmy jednak, że zapisujemy błędnie chwilę spotkania, biorąc N+1 zamiast N. Otrzymana wartość czasu T będzie tedy:

$$T' = \frac{N+1}{N+1-n}$$

a błąd uczyniony wynosi

$$T'-T = \frac{N+1}{N+1-n} - \frac{N}{N-n} = \frac{n}{(N+1-n)(N-n)}$$

Jeżeli N równa się 10000, n = 100, to omyłka na jedną sekundę zrobiona przy zapisywaniu czasu spotkań pociąga za sobą błąd w obliczonéj wartości T wynoszący zaledwie jednę milionową jéj wartości.

ROZDZIAŁ ÓSMY.

CIĄŻENIE POWSZECHNE.

127. Metoda Newtona.

Najbardziéj pouczającym przykładem metody rozumowania dynamicznego jest zastosowanie jéj przez *Newto-*

na do oznaczenia prawa siły, z jaką ciała niebieskie działają wzajemnie na siebie.

Przebieg rozumowania dynamicznego polega na tém, że z szeregu kolejnych konfiguracyj ciał niebieskich dostrzeganego przez astronomów wyprowadzamy prędkości i przyspieszenia tych ciał, i na téj drodze wyznaczamy kierunek i względną wielkość siły na nie działającéj.

Już *Kepler* przygotował tę drogę dla poszukiwań *Newtona*, gdyż przez staranne badanie dostrzeżeń *Tychona Brahe* wyprowadził trzy prawa ruchu nazwane prawami Keplera.

128. Prawa Keplera.

Prawa Keplera są czysto kinematycznemi. Opisują one zupełnie ruch planet, nie mówiąc nic o siłach wytwarzających te ruchy.

Znaczenie dynamiczne tych praw odkrył *Newton*.

Dwa pierwsze prawa odnoszą się do ruchu pojedyńczéj planety.

Pierwsze prawo. Powierzchnie opisywane przez wodzącą poprowadzoną od słońca do planety są proporcyonalnemi do czasów, w ciągu których zostały opisanemi. Jeżeli h oznacza podwójną powierzchnię opisaną w jednostce czasu, to podwójna powierzchnia opisana w czasie t jest h.t, a jeżeli P jest massą planety, to P.h.t jest według określenia podanego w ustępie 78-ym — masso-powierzchnią. Wynika ztąd, że moment kątowy planety względem słońca będący miarą zmiany masso-powierzchni równa się P.h, to jest ilości stałéj.

Zgodnie przeto z ustępem 70-ym siła działająca na planetę, jeżeli w ogóle istnieje, nie może mieć żadnego momentu względem słońca; w przeciwnym bowiem razie jéj moment kątowy byłby się zwiększał lub zmniejszał z szybkością, miarą któréj była by wartość tego momentu.

Jakiéjkolwiek przeto natury była by siła działająca na planetę, kierunek jéj musi koniecznie przechodzić przez słońce.

129. Prędkość kątowa.

Określenie. Prędkością kątową wodzącéj nazywamy prędkość, z jaką rośnie kąt zawarty między nią a stałą wodzącą znajdującą się na płaszczyznie ruchu.

Jeżelii ω jest prędkością kątową wodzącéj, r jéj długością, to prędkość przyrostu wielkości opisywanéj powierzchni wynosi $\frac{1}{2}.\omega.r^2$. Jest więc:

$$h = \omega.r^2,$$

a ponieważ h jest ilością stałą, to ω t. j. prędkość kątowa ruchu planety względem słońca zmienia się w stosunku odwrotnym do kwadratu z odległości od słońca.

To jest zawsze prawdą niezależnie od prawa siły, w założeniu tylko że siła działająca na planetę przechodzi zawsze przez słońce.

130. Ruch około środka massy.

Ponieważ parcie między planetą i słońcem działa na oba ciała, to żadne z nich nie może pozostać w spoczynku.

Fig. 15.

Jedynym punktem, którego ruch nie ulega zmianie w skutek parcia, jest środek massy obu ciał.

Jeżeli r jest odległością SP (Fig. 15), a C środkiem massy, to:

$$SC = \frac{P.\,r}{S+P} \text{ i } CP = \frac{S.\,r}{S+P}$$

Moment kątowy planety P względem punktu C jest;

$$P.\omega.\,\frac{S^2.r^2}{(S+P)^2} = \frac{P.S^2}{(S+P)^2.h}$$

131. Orbita.

Mówiąc o ruchu układu materyalnego, zrobiliśmy już użytek z diagramów konfiguracyi i prędkości. Diagramy te przedstawiają jednak tylko stan układu w danéj chwili za pomocą punktów odpowiadających ciałom układu.

Często jednak jest rzeczą właściwą przedstawienie całego szeregu konfiguracyj lub prędkości układu w jednym pojedyńczym diagramie.

Jeżeli przyjmiemy, że punkta diagramu poruszają się w ten sposób, iż ciągle wskazują stan poruszającego się układu, to każdy punkt diagramu opisywać będzie linię prostą lub krzywą.

W diagramie konfiguracyi linia ta nazywa się w ogóle *drogą* ciała. W przypadku ciał niebieskich nazywamy ją *orbitą*.

132. Hodograf.

W diagramie prędkości nazywamy każdą linię opisaną przez punkt poruszający się *hodografem* ciała odpowiadającego temu punktowi,

Sir W. R. Hamilton wprowadził metodę hodografu do badania ruchu ciała. Hodograf daje się określić jako droga opisana przez koniec wodzącéj, przedstawiającéj stale co do kierunku i wielkości prędkość poruszającego się ciała.

Przy stosowaniu metody hodografu do planety, którego orbita jest płaską, odpowiednią jest rzeczą przyjąć, że hodograf obrócił się na kąt prosty około swego początku tak, aby wodząca hodografu była nie równoległą, lecz prostopadłą do prędkości którą przedstawia.

133. Drugie prawo Keplera.

Drugie prawo. Orbita planety w odniesieniu do słońca jest elipsą, w jedném z ognisk którój znajduje się słońce.

Niechaj APQB (Fig. 16) będzie orbitą eliptyczną, niechaj w S będzie słońce w jedném z ognisk, H zaś drugiém ogniskiem. Przedłużmy prostą SP do U tak, aby

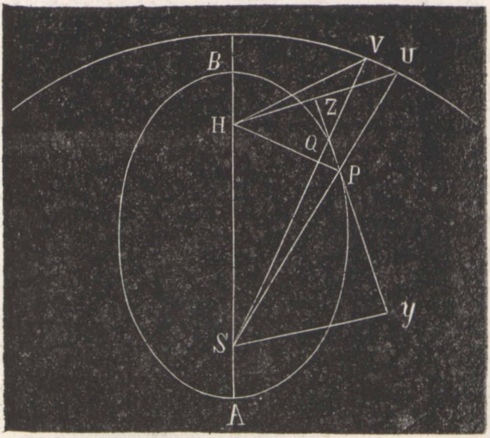

Fig. 16.

długość SU równała się osi wielkiéj AB i połączmy punkt H z punktem U, wtedy linia HU będzie proporcyonalną i prostopadłą do prędkości w punkcie P. Podzielmy prostą

HU w punkcie Z na dwie równe części i poprowadźmy prostą ZP; będzie ona styczną do elipsy w punkcie P. Z punktu S poprowadźmy do téj stycznéj prostopadłą SY.

Jeżeli v jest prędkością w punkcie P, a h podwójną powierzchnią opisaną w jednostce czasu, to h=v.SY

Jeżeli oznaczymy małą oś elipsy przez b, to będzie:

$$SY.HZ = b^2$$

Lecz HU=2.HZ, przeto:

$$v = \tfrac{1}{2}.\frac{h}{b^2}.HU$$

Prosta HU jest przeto zawsze proporcyonalną do prędkości i prostopadłą do jéj kierunku. Prosta SU jest zawsze równą AB. Okrąg więc koła, którego środek znajduje się w S, a promień równa się prostéj AB, jest hodografem planety, H jest początkiem hodografu.

Odpowiadające sobie punkta orbity i hodografu leżą zawsze na jednéj prostéj przechodzącéj przez punkt S.

Punktowi P odpowiada punkt U, punktowi zaś Q punkt V.

Prędkość udzielona ciału w czasie jego przejścia od P do Q wyraża się geometryczną różnicą wodzących HU i HV t. j. linią UV i jest prostopadłą do tego łuku kołowego, a więc, jak już dowiedliśmy, skierowaną ku punktowi S.

Jeżeli PQ jest łukiem opisanym w ciągu jednostki czasu, to UV przedstawia przyspieszenie, a ponieważ UV znajduje się na kole, którego środkiem jest punkt S, to UV będzie miarą prędkości kątowéj planety względem punktu S. Przyspieszenie przeto jest proporcyonalném do prędkości kątowéj, która według ustępu 129-go jest odwrotnie proporcyonalną do kwadratu z odległości SP. Przyspieszenie planety jest przeto skierowaném ku słońcu i odwrotnie proporcyonalném do kwadratu z odległości od słońca.

Oto prawo, według którego zmienia się przyciąganie słońca i planety wtedy, gdy planeta porusza się po swojéj orbicie i zmienia swoją odległość od słońca.

134. *Siła działająca na planetę.*

Wykazaliśmy już, że orbita planety odniesiona do środka massy słońca i planety jest w takim związku z orbitą planety odniesionéj do słońca, że odległości planety od słońca na pierwszéj z nich mają się do odległości na drugiéj jak S do S+P. Jeżeli 2a i 2b są osiami orbity planety odniesionéj do słońca, to powierzchnia planety jest $\pi.a.b.$ a jeżeli T przedstawia czas, jakiego potrzebuje planeta dla przebieżenia raz jeden całéj orbity, to wartość wielkości h jest;

$$2\pi.\frac{a.b}{T.}$$

Prędkość względem słońca będzie przeto:

$$\pi.\frac{a}{T.b}.HU$$

prędkość zaś względem środka massy:

$$\frac{S}{S+P}.\ \frac{\pi.a}{T.b}.HU$$

Przyspieszenie planety względem środka massy jest:

$$\frac{S}{S+P}.\ \frac{\pi.a}{T.b}.UV,$$

a pobudzenie działające na planetę, któréj massa P, jest:

$$\frac{S.P}{S+P}.\ \frac{\pi.a}{T.b}UV.$$

Jeżeli czas, w ciągu którego planeta przebiega łuk PQ, oznaczymy przez t, to podwójna powierzchnia SPQ będzie:

$$h.t = \omega.r^2.t$$

i $$UV = 2.a.\omega.t = 2.a.\frac{h}{r^2}.t = 4.\pi.\frac{a^2.b}{T.r^2}.t$$

Siła działająca na planetę będzie przeto:

$$F = 4.\pi.^2\frac{S.P}{S+P}.\frac{a^3}{T^2.r^2}$$

Oto jest wartość parcia albo przyciągania między planetą i słońcem wyrażona przy pomocy mass P i S obu ciał, ich średniéj odległości a, ich istotnéj odległości r i czasu obiegu T.

135. Wyjaśnienie trzeciego prawa Keplera.

W celu porównania przyciągań między słońcem i rozmaitemi planetami, *Newton* zastosował trzecie prawo *Keplera.*

Trzecie prawo. Kwadraty z czasów obiegu rozmaitych planet są proporcyonalnemi do sześcianów z ich średnich odległości od słońca.

Innemi słowy wielkość $\frac{a^3}{T^2}$ jest stałą, wartość jéj oznaczmy przez $\frac{C}{4.\pi^2}$

Będzie przeto:

$$F = C.\frac{S.P}{S+P}.\frac{1}{r^2}$$

Massa mniejszych planet jest tak nieznaczną w porównaniu ze słońcem, że można przyjąć dla nich stosunek $\frac{S}{S+P}$ równym jedności, tak że:

$$F = C.P.\frac{1}{r^2}$$

t. j. przyciąganie działające na planetę jest proporcyonalném do massy planety i odwrotnie proporcyonalném do kwadratu z jéj odległości od słońca.

136. Prawo ciążenia.

Najważniejszym faktem odnoszącym się do przyciągania wynikającego z ciążenia jest ten, że ono działa jednakowo na równe massy jakichkolwiek substancyi. Fakt ten został stwierdzonym z pomocą doświadczeń z wahadłem dla wszystkich rodzajów materyi istniejących na powierzchni ziemi. *Newton* rozszerzył to prawo do materyi, z jakiéj składają się różne planety.

Jeszcze przed *Newtonem* przyjmowano, że słońce jako całość przyciąga planetę jako całość i przeczuwano nawet prawo przyciągania w stosunku odwrotnym do kwadratu z odległości, ale dopiero w rękach *Newtona* teorya ciążenia przyjęła swą formę ostateczną.

Każda część materyi przyciąga każdą inną część materyi i parcie pomiędzy niemi jest proporcyonalném do iloczynu ich mass, podzielonemu przez kwadrat z odległości.

Jeżeli bowiem przyciąganie między gramem substancyi na słońcu i gramem substancyi na planecie w odległości r jest równém $\frac{C}{r^2}$ gdzie C jest ilością stałą, to zakładając, że słońce zawiera S gramów, a planeta P gramów substancyi, otrzymamy, że całkowite przyciąganie między słońcem i gramem na planecie, będzie $\frac{C.S}{r^2}$ a całkowite przyciąganie między słońcem i planetą będzie $C.\frac{S.P.}{r^2}$

Porównanie wyrażenia tego „prawa powszechnego ciążenia“ *Newtona* ze znalezioném poprzednio wyrażeniem siły F doprowadza do równości:

$$C.\ \frac{S.P}{r^2} = 4.\ \pi^2.\ \frac{S.P}{S+P}.\frac{a^3}{T^2.\ r^2}.$$

albo: $4.\ \pi^2.\ a^3. = C.\ (S+P).T^2.$

137. Poprawniejsza forma trzeciego prawa Keplera.

Należy przeto poprawić trzecie prawo *Keplera*, które brzmiéć będzie jak następuje:

Sześciany ze średnich odległości planet od słońca mają się do siebie jak kwadraty z czasów ich obiegu pomnożone przez summę massy słońca i planety.

Dla wielkich planet jak dla Jowisza, Saturna i t. p. wartość $S+P$ jest bez porównania większą niż dla ziemi i dla mniejszych planet. Wynika ztąd, że czasy obiegu większych planet muszą być nieco krótszemi, aniżeli to wypada z trzeciego prawa Keplera, co istotnie ma miejsce.

W następującéj tabliczce znajdują się średnie odległości a planet od słońca wyrażone za pomocą średniéj odległości ziemi i za pomocą czasów obiegu T wyrażonych w latach gwiazdowych.

Planeta	a	T	a^3	T^2	a^3-T^2
Merkury	0,387098	0,24084	0,0580046	0,0580049	— 0,0000003
Wenus	0,72333	0,61518	0,378451	0,378453	— 0,000002
Ziemia	1,0000	1,00000	1,00000	1,00000	
Mars	1,52369	1,88082	3,53746	3,53747	— 0,00001
Jowisz	5,20278	11,8618	140,832	140,701	+ 0,131
Saturn	9,53879	29,4560	867,914	867,658	+ 0,256
Uranus	19,1824	84,0123	7058,44	7058,07	+ 0,37
Neptun	30,037	164,616	27100,0	27098,4	+ 1,6

Z tablicy téj widać, że wprawdzie trzecie prawo Keplera jest dokładném ze znaczném przybliżeniem, gdyż a^3 jest prawie równém T^2, lecz dla planet, których massa jest mniejszą od massy ziemi, mianowicie dla Merkurego, Wenery i Marsa a^3 jest mniejszém od T^2, gdy tymczasem dla Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna, których massa jest większą od massy ziemi, a^3 jest większem od T^2.

138. Dzielność potencyalna pochodząca od siły ciążenia.

Dzielność potencyalna ciążenia zachodzącego między ciałami daje się obliczyć, jeżeli znamy wyrażenie ich przyciągania za pomocą odległości. Ta metoda rachunkowa, w któréj dodajemy skutki wielkości zmieniającéj się w sposób ciągły, należy do rachunku całkowego; a lubo w tym przypadku rachunek dałby się jeszcze przeprowadzić przy pomocy metod elementarnych, wolimy jednak wyprowadzić dzielność potencyalną wprost z pierwszego i drugiego prawa Keplera.

Prawa te określają zupełnie ruch słońca i planety, możemy więc za pomocą nich obliczyć dzielność kinetyczną układu odpowiadającą jakiéjkolwiek części orbity eliptycznéj. Ponieważ słońce i planeta tworzą układ zachowawczy, to summa dzielności kinetycznéj i potencyalnéj jest stałą; a gdy znamy dzielność kinetyczną, to możemy ztąd otrzymać tę część dzielności potencyalnéj, która zależy od wzajemnéj obu ciał odległości.

139. Dzielność kinetyczna układu.

Dla oznaczenia dzielności kinetycznéj zauważmy, że prędkość planety względem słońca jest podług ustępu 133:

$$V=\tfrac{1}{2}.\frac{h}{b^2}\cdot HU.$$

Prędkość i planety i słońca względem środka massy są odpowiednio:

$$\frac{S}{S+P}.\ v\ \text{i}\ \frac{P}{S+P}.v.$$

Dzielności kinetyczne planety i słońca są przeto:

$$\tfrac{1}{2}\ P.\frac{S^2}{(S+P^2)}.v^2\ \text{i}\ \tfrac{1}{2}\ S.\ \frac{P^2}{(S+P^2)}.v^2$$

a całkowita dzielność kinetyczna jest:

$$\tfrac{1}{2}.\ \frac{S.P}{S+P}.\ v^2=\tfrac{1}{8}.\ \frac{S.P}{S+P}.\frac{h^2}{b^4}\ (HU)^2$$

Aby wyrazić v^2 przez SP lub r, zauważmy, że według twierdzenia o powierzchniach:

$$v.\ SY=h=\frac{2.\pi.a.b.}{T}\ (1)$$

a według znanéj własności elipsy:

$$HZ.\ SY=b^2\ \ (2)$$

Z podobieństwa trójkątów HZP i SYP wynika, że:

$$\frac{SY}{HZ}=\frac{SP}{HP}=\frac{r}{2a-r}\ \ (3)$$

Mnożąc równania (2) i (3) odpowiedniemi stronami, otrzymujemy:

$$(SY)^2=\frac{b^2.r}{2a-r}$$

Jeżeli, podniosłszy do kwadratu obie strony równania (1), podstawimy w niém dopiero co otrzymaną wartość dla $(SY)^2$, to mieć będziemy:

$$v^2=\frac{4\pi^2a^2.b^2}{T^2}.\frac{1}{(SY)^2}=\frac{4\pi^2.a^2}{T^2}\left(\frac{2a}{r}-1\right)$$

i dzielność kinetyczna układu będzie:

$$\frac{4\pi^2.a^3}{T^2}.\frac{S.P}{S+P}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{2a}\right),$$

co na zasadzie równania znajdującego się na końcu ustępu 136 równa się:

$$C.S.P\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{2a}\right)$$

gdzie C jest stałą ciążenia.

To jest wartość dzielności kinetycznéj dwóch ciał S i P poruszających się po elipsie, któréj osią wielką jest 2a.

140. Dzielność potencyalna układu.

Summa dzielności kinetycznéj i potencyalnéj układu jest ilością stałą; wartość bezwzględna téj ilości jest podług ustępu 110-go nieznaną, ale znajomość jéj nie jest potrzebną.

Jeżeli więc przyjmiemy, że dzielność potencyalna jest wielkością formy

$$K - C.S.P. \frac{1}{r}$$

to drugi wyraz tego wyrażenia będzie jedynym wyrazem zależnym od odległości r, a więc i jedynym wyrazem, którym powinniśmy się zająć. Drugi wyraz K przedstawia pracę, jaką wykonywa ciążenie, gdy ciała znajdujące się pierwotnie w nieskończonéj odległości zdążają ku sobie na odległość tak małą, na jaką pozwalają ich wymiary.

141. Księżyc jest ciałem ciężkiém.

Newton oznaczywszy w ten sposób prawo siły działającéj między pojedyńczemi planetami i słońcem, przystąpił do wykazania, że dostrzegany przez nas ciężar ciała na powierzchni ziemi i siła utrzymująca księżyc na jego drodze około ziemi ulegają jednemu i temu samemu prawu odwrotnych kwadratów z odległości.

Ciężkość działa w każdéj dostępnéj dla nas miejscowości, na szczytach najwyższych gór i na najwyższych punktach, do jakich dosięgamy balonami. Natężenie jéj zmniejsza się w miarę oddalania się od powierzchni ziemi, jak to wykazują doświadczenia z wahadłem; a lubo wysokość, do któréj możemy się podnieść, jest tak nieznaczną w porównaniu z promieniem ziemi, iż przez dostrzeżenia tego rodzaju nie można wykazać, że ciężkość działa w stosunku odwrotnym do kwadratów z odległości, to jednak dostrzegane zmniejszanie się ciężkości zgadza się z prawem wyprowadzoném przez Newtona z ruchu planet.

Zakładając, że natężenie ciężkości zmienia się w stosunku odwrotnym do kwadratu z odległości od środka ziemi, Newton obliczył wartość ciężkości dla średniéj odległości księżyca ze znanéj wartości téj siły na powierzchni ziemi.

Pierwsze rachunki jego były obciążone błędem z tego względu, że podstawą ich było fałszywe oznaczenie wymiarów ziemi. Lecz zastosowawszy potem dokładniejszą wartość dla tych wymiarów, Newton znalazł, że natężenie ciężkości ziemskiéj, obliczone dla odległości równéj odległości księżyca od ziemi, jest tak wielkiém jak siła, jaka jest konieczną dla utrzymania księżyca na jego orbicie.

W ten sposób Newton utożsamił siłę działającą między ziemią i księżycem z siłą, skutkiem któréj ciała znajdujące się w blizkości powierzchni ziemi spadają na ziemię.

142. *Doświadczenie Cavendish'a.*

Po dowiedzeniu, że siła, skutkiem któréj przyciągają się ciała niebieskie, jest téj saméj natury, co siła, skutkiem któréj ziemia przyciąga ciała, z któremi możemy robić doświadczenia, pozostało jeszcze wykazać, że i te ciała przyciągają się wzajemnie.

Trudność ostatniego zadania leży w tém, że massa ciał, z któremi mamy do czynienia, jest tak małą w porównaniu z massą ziemi, że gdy zbliżymy, o ile można najbardziéj, dwa takie ciała, to przyciąganie pomiędzy niemi będzie tylko nadzwyczaj małym ułamkiem ich ciężaru.

Nie możemy wprawdzie usunąć przyciągania wywieranego przez ziemię, ale doświadczenie należy urządzić w ten sposób, aby przyciąganie to jak najmniej wpływało na skutek przyciągania wzajemnego ciał danych.

W tym celu *John Michell* zbudował przyrząd, który otrzymał nazwę wagi skręceń. *Michell* umarł, nie wykonawszy doświadczenia, ale przyrząd jego dostał się w ręce *Cavendish'a*, który go ulepszył i z jego pomocą wymierzył przyciąganie między wielkiemi kulami ołowianemi i małemi kulami zawieszonemi na ramionach wagi. Podobny przyrząd do mierzenia małych sił elektrycznych i magnetycznych zbudował późniéj niezależnie *Coulomb*. Jest to jeszcze do téj pory najlepszy z przyrządów, jakich nauka używa do mierzenia małych sił wszelkiego rodzaju.

143. Waga skręceń.

Waga skręceń składa się ze sztaby poziomej zawieszonéj za pomocą drutu na stałéj podstawie. Jeżeli sztaba (drąg wagi) obraca się pod wpływem siły zewnętrznéj w płaszczyznie pionowéj, to skręca drut, który będąc sprężystym, stawia opór zmianie kształtu i usiłuje się rozkręcić. Ta siła skręcenia jest proporcyonalną do kąta, na jaki drut został skręconym, tak, że gdy na jeden koniec sztaby działa prostopadle siła w kierunku poziomym, to z kąta, na jaki ona obraca sztabę, możemy oznaczyć wielkość siły.

Siła jest proporcyonalną do kąta skręcenia, do czwartéj potęgi ze średnicy drutu, a odwrotnie proporcyonalną do długości sztaby i długości drutu.

Stosując przeto bardzo cienkie i długie druty i bardzo długą sztabę, będziemy w stanie mierzyć bardzo małe siły.

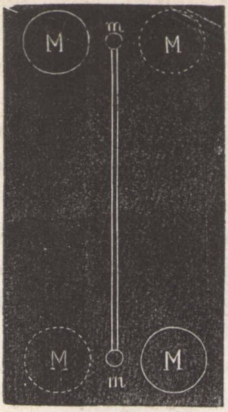

Fig. 17.

W doświadczeniu Cavendish'a (fig. 17) dwie kule równéj massy m są przytwierdzonemi w końcach drąga wagi skręceń. Dla prostoty załóżmy, że massa pręta może być pominiętą w porównaniu z massą kul. Dwie równe większe kule M mają się znajdować w M i M lub w M' i M'. W pierwszém położeniu przez przyciąganie mniejszych kul m i m usiłują one obrócić sztabę w kierunku strzałek, w drugiém zaś położeniu — w kierunku przeciw nym. Waga skręceń wraz z przytwierdzonemi do niéj kulami jest zamkniętą w skrzyni, celem uniknienia zboczeń, jakie mogą wywołać prądy powietrzne. Położenia sztaby oznacza się przez obserwacyę obrazu skali podziałowéj w zwierciedle pionowém przytwierdzoném w środku sztaby. Cała waga umieszcza się w zupełnie oddzielonéj przestrzeni, a dostrzegacz nie wchodząc do niéj, obserwuje obraz skali przez lunetę.

144. Metoda doświadczenia.

Najprzód oznacza się czas T podwójnego wahnięcia i położenie równowagi srodków kul m.

Następnie sprowadzamy większe kule do położeń M M w ten sposób, aby ich środki znajdowały się w odległości a od położeń równowagi o (Fig. 18) środków kul m.

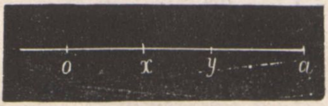

Fig. 18.

Nie oczekując chwili zaprzestania wahań drąga, obserwujemy punkta podziału skali odpowiadające punktom końcowym pojedyńczego wahnięcia; niechaj będą one odległemi o długości x i y od położenia równowagi. W tych punktach sztaba jest na chwilę w spoczynku, cała éj dzielność jest wtedy potencyalną, a ponieważ całkowia dzielność jest stałą, więc dzielność odpowiadająca położeniu x musi równać się dzielności potencyalnéj w położeniu y.

Jeżeli więc T jest czasem trwania jednego wahnięcia podwójnego około punktu równowagi o, to dzielność potencyalna pochodząca od skręcenia w położeniu x jest według ustępu 119-go:

$$\frac{2.\pi^2.m}{T^2}\cdot x^2,$$

a dzielność potencyalna pochodząca z ciążenia między m i M podług ustępu 140:

$$K-C.\frac{m.M}{a-x}$$

Dzielność potencyalna całego ukladu w położeniu x jest przeto:

$$K-C.\frac{m.M}{a-x}+\frac{2.\pi^2.m.}{T^2}\cdot x^2$$

a w położeniu y:

$$K-C.\frac{m.M}{a-y}+\frac{2.\pi^2.m.}{T^2}\cdot y^2$$

Ponieważ dzielność potencyalna w obu położeniach jest jednaką, więc:

$$C.m.M\left(\frac{1}{a-y}-\frac{1}{a-x}\right)=\frac{2.\pi^2.m}{T^2}(y^2-x^2)$$

a ztąd:

$$C=\frac{2.\pi^2}{M.T^2}(x+y)(a-x)(a-y)$$

Przy pomocy tego równania wyrażamy stałą ciążenia C przez wielkości otrzymane z doświadczenia, mianowicie: przez massę M wielkich kul w grammach, przez czas T trwania podwójnego wahnięcia w sekundach i przez odległości x, y i a w centymetrach.

Z doświadczeń *Baily*'go wypada $C = 6{,}5 . 10^{-8}$. Jeżeli jednostkę massy wybierzemy tak, aby ta w odległości równéj jednostce długości wytworzyła jedność przyspieszenia, przyczém za jednostki zasadnicze weźmiemy centymetr i sekundę, to jednostka massy powinna być równą $1{,}537 . 10^7$ grammom albo 15,37 tonnom. Ta jednostka massy redukuje stałą ciążenia C do jedności; tę jéj wartość wprowadzamy do wszystkich rachunków astronomicznych.

145. Ciążenie powszechne.

Widzieliśmy, że przyciąganie w skutek ciążenia zachodzi w całym szeregu zjawisk przyrody. Znaleźliśmy, téż że prawo zmiany siły wraz ze zmianą odległości słońca od planety zachodzi i wtedy, gdy porównywamy przyciągania między różnemi planetami i słońcem, i między księżycem i ziemią z przyciąganiem między ziemią i ciałami ciężkiemi znajdującemi się na jéj powierzchni. Daléj znaleźliśmy, że ciążenie dwóch równych mass w równych odległościach jest niezależném od natury materyi, z jakiéj składają się te massy. O tém przekonywamy się za pomocą doświadczeń z wahadłami z rozmaitych substancyj, jako też przez porównanie przyciągania słońca i różnych planet, których skład prawdopodobnie jest różnym. Doświadczenia Baily'go nad wagą skręceń z kulami z rozmaitych substancyj stwierdzają to prawo.

Ponieważ w tak wielkiéj liczbie przypadków tak przestrzennie od siebie odległych znajdujemy, że ciążenie zależy tylko od massy ciał, a nie od ich natury chemicznéj lub fizycznéj, dochodzimy przeto do wniosku, że ono ma miejsce dla wszystkich substancyj.

Tak np. żaden fizyk nie wątpi, że dwie cząstki powietrza atmosferycznego przyciągają się wzajemnie, lubo mało jest widoków, że kiedykolwiek odkrytemi będą metody, za pomocą których można będzie to przyciąganie już nie mierzyć, ale tylko uczynić widocznem. Lecz wiemy, że między każdą cząstką powietrza a ziemią ma miejsce przyciąganie. Doświadczenie zaś Cavendish'a uczy, że ciała podległe ciążeniu, jeżeli mają dostateczne massy, ciążą ku sobie; ztąd wyprowadzamy wniosek, że dwie cząstki powietrza ciążą ku sobie. Czy zaś środek, w którym rozchodzą się światło i elektryczność jest materyą ciężką, jest to jeszcze rzecz niepewna w najwyższym stopniu, lubo wątpić nie należy, że środek ten jest materyalnym i posiada massę.

146. Przyczyna ciążenia.

Newton w swoich „Zasadach" z podległych dostrzeganiu ruchów ciał niebieskich wyprowadza wniosek, że ciała niebieskie przyciągają się wzajemnie według oznaczonego prawa.

Zasadę tę rozwija on przy pomocy ścisłego dynamicznego rozumowania i wykazuje, że nie tylko wszystkie widoczne zjawiska ale i pozorne nieprawidłowości w ruchach tych ciał są dającemi się obliczyć wynikami téj zasady.

W swoich „Zasadach" ogranicza się Newton na dowiedzeniu i rozwinięciu tego wielkiego postępu nauki o wzajemném działaniu ciał na siebie, nie mówiąc nic o sposobach, przy pomocy których ciała mogą stać się wzajemnie ciążącemi ku sobie. Wiemy jednak, że umysł jego nie zaspokoił się tym rezultatem. Newton przypuszczał, że i samo ciążenie powinnoby jeszcze dać się wyjaśnić. Sam nawet usiłował dać objaśnienie oparte na działaniu środka eterycznego wypełniającego przestrzeń. Ale z owém mądrém umiarkowaniem cechującém wszystkie jego badania wyróżnił on starannie spekulacye od prawd stwierdzonych dostrzeganiem i dowodami i wyłączył ze swoich „Zasad“ powyższe objaśnienie przyczyny ciążenia, ogłosiwszy tylko myśli swoje w tym względzie w „Pytaniach“ pomieszczonych na końcu swojéj „Optyki“.

Nieliczne usiłowania, jakie po Newtonie robiono dla rozstrzygnięcia tego trudnego pytania, nie doprowadziły do żadnego pewniejszego rezultatu.

147. Zastosowanie metody badania Newtona.

Metoda badania sił działających między ciałami, postawiona przez Newtona i zastosowana przezeń do ciał niebieskich, była późniéj ze skutkiem stosowaną przez *Cavendish'a*, *Coulomb'a i Poissona* do ciał naelektryzowanych i namagnetyzowanych.

Badanie tego rodzaju, w którém rozważa się działanie wzajemne bardzo małych cząstek ciał, jest bardzo utrudnioném z tego względu, że ciała badane i ich odległości są tak małemi, że nie możemy ich ani dostrzedz, ani mierzyć, ani widziéć ich ruchów tak, jak widzimy ruchy planet lub ciał elektrycznych i magnetycznych.

148. Metody fizyki cząsteczkowéj.

Z tego powodu badania umiejętności o cząsteczkach zawdzięczają swój postęp przeważnie metodzie hypotez i porównaniu wniosków z tych hypotez z dostrzeganemi faktami.

Skutek téj metody zależy od ogólności hypotezy, od któréj rozpoczynamy. Jeżeli nasza hypoteza jest najogólniejszą, t. j. gdy według niéj zjawiska badane zależą od konfiguracyi i ruchu układu materyalnego, i gdy nam się udaje z hypotezy téj wyprowadzić wnioski dające się spożytkować, to możemy ją spokojnie stosować do zjawisk, jakiemi się zajmujemy.

Jeżeli jednak stawiamy hypotezę, według któréj konfiguracya, ruch lub działanie układu materyalnego są jakiéjś szczególnéj oznaczonéj natury, to gdy nawet wnioski z téj hypotezy zgadzają się z doświadczeniami, nie możemy jeszcze zaprzeczać możliwości fałszu hypotezy, chyba że potrafimy dowieść, że żadna inna hypoteza uważanych zjawisk wyjaśnić nie jest w stanie.

149. Ważność zjawisk ogólnych i elementarnych.

Z tego względu w badaniach fizykalnych jest rzeczą największéj wagi poznanie dokładne najogólniejszych własności układu materyalnego i dla tego w téj książce zająłem się témi ogólnemi własnościami, nie wkraczając wcale w bardziéj zajmującą i bogatą w przemiany dziedzinę szczególnych własności oddzielnych form materyi.

K O N I E C.