ROZDZIAŁ VII.

O Biegu ciał.

§ 20. O Biegu w ogólności.

215. Wydaią się nam ciała albo w spoczynku albo w ruchu. Sądzimy że ciało iest w spoczynku, kiedy wszystkie części, które w niém uważamy, zachowuią względem siebie iednostayne położenie, iako też i względem innych ciał które poczytuiemy za nieruchome: przeciwnie, rozumiemy że iest w ruchu kiedy albo całe ciało, albo iego części odmieniaią położenie względem ciał nieruchomych.

216. Trudno rospoznać czyli ciało iest w spoczynku, czyli też w ruchu. Płynący *np.* na statku nie czuie iego biegu, lecz mu zdaie się że na brzegach przedmioty będące, usuwaią się.

217. Uważaiąc ciało bieżące, trzeba mieć wzgląd na następuiące okoliczności. 1. Na długość drogi którą ciało przebywa. 2. Na prędkość z iaką bieży. 3. Na czas w iakim tę drogę odprawuie. 4. Na siłę, która ciało nakłania do biegu. Drogę wystawuiemy naprzód przez liniią prostą. Czas rachuiemy na sekundy, minuty i t. d. Nabywamy wyobrażenia prędkości, uważaiąc iaką drogę przebywa ciało w pewnym czasie: *np.* ieśli w iedney sekundzie ubiega ciało prętów 4: a potém znowu w iedney sekundzie ubiega prętów 8, ma tedy w drugim razie prędkość dwa razy większą niż w piérwszym. Nako-

niec zowiemy siłą, wszelką przyczynę sprawuiącą bieg w ciałach.

218. *Jak się znayduie droga, prędkość, czas?* Rzecz iest oczywista, iż ciało tém większą drogę przebywa, im większą bieży prędkością i przez dłuższy czas. Wystawmy sobie dwa ciała bieżące. Niech 1. biegną iednakową prędkością, ale piérwsze przez dwa razy dłuższy czas aniżeli drugie; tedy piérwsze dwa razy większą drogę przebieży aniżeli drugie. Niech 2. biegną obadwa ciała przez iednakowy czas, ale piérwsze trzy razy prędzéy niż drugie; tedy piérwsze trzy razy większą drogę przebieży niż drugie. 3. Jeżeli nakoniec piérwsze ciało bieży i przez dwa razy dłuższy czas, i trzy razy większą prędkością niż drugie, przebieży zatém prędkością trzy razy większą drogę sześć razy większą, aniżeli drugie ciało.

A zatém: *droga, którą ciało przebywa, znayduie się mnożąc czas przez prędkość.* Naprzykład człowiek idzie na iednę minutę kroków 15; ieśli szedł przez minut 4 a zatém uszedł kroków 60: to iest droga przebyta znayduie się mnożąc liczbę oznaczaiącą czas przez liczbę oznaczaiącą prędkość.

Albo, ieśli uszedł 60 kroków w przeciągu 4 minut, więc na 1. minutę uchodził kroków 15. czyli, prędkość znayduie się dzieląc drogę przez czas.

Albo, nakoniec ieśli na iednę minutę uchodzi 15 kroków, tedy 60 kroków uszedł w cztérech minutach, czyli, czas znayduie się dzieląc drogę przez prędkość.

Nazwiymy, ogólnie drogę *D.* czas *C.* prędkość *P.*

będzie $D = CP$, więc $P = \frac{D}{C}$, a zaś $C = \frac{D.}{P.}$

219. Wiedząc iak się znayduie droga, czas i prędkość, łatwo okażemy iaki iest ich stosunek w dwóch ciałach bieżących. Nazwiymy iednego ciała drogę przebieżoną D, czas w którym ią przebiega C, prędkość którą bieży P. Nazwiymy drugiego ciała drogę d, czas c, prędkość p.

będzie . . . . . $D = CP$

i znowu . . . . $d = cp$

Przeto, ile razy D iest większe lub mnieysze od d, tyle razy CP iest większe lub mnieysze od cp.

220. A zatém, $D : d = CP : cp$.

To iest: *gdy drogi są nierówne, maią się iak iloczyny z czasów i prędkości, czyli są w stosunku składanym z czasów i prędkości.*

221. Daymy że $C = c$ (220) więc podzieliwszy stosunek $CP : cp$ przez C, będzie $P : p$. A zatém proporcya (220) zamieni się w następuiącą:

$$D : d = P : p.$$

To iest: *gdy czasy są równe, wtedy drogi maią się iak prędkości, i nawzaiem prędkości maią się iak drogi.*

222. Daymy że $P = p$ (220) będzie zatém

$$D : d = C : c.$$

To iest: *gdy prędkości są równe, drogi maią się iak czasy.*

223. Nakoniec ieśli $D = d$ (220); będzie $CP = cp$, więc dwa wyrazy iednego iloczynu wziąwszy za skrayne, a drugiego za średnie, będzie proporcya:

to iest, $C : c = p : P$.

To iest: *gdy drogi przebieżone są równe, wtedy czasy są w stosunku odwrotnym prędkości.*

224. *Jak się znayduie siła, massa, prędkość?* Z doświadczenia mamy, że im prędzéy

bieży iakie ciało, tém mocniéy uderza, czyli tém większą ma siłę. Tak *np.* piłka tém silniéy uderza w ścianę, im z większą prędkością swoię drogę przebiega. Wiémy także że gdy ciała biegną iednakową prędkością; na ten czas to silniéy uderza, które iest pełnieysze, czyli które ma większą massę (19). Tak *np.* daleko silniéy uderzy kamień aniżeli piłka, chociaż będą biegły iednakową prędkością. Dochodzimy więc siły bieżącego ciała, uważaiąc iego prędkość i massę.

Niech 1. będą dwa ciała iednakowéy massy, ale piérwsze dwa razy prędzéy bieży niż drugie; będzie zatém piérwsze miało dwa razy większą siłę niż drugie.

2. Niech biegną obadwa ciała iednakową prędkością, ale piérwsze ma trzy razy większą massę niż drugie, będzie zatém miało trzy razy większą siłę niż drugie.

3. Jeśli nakoniec pierwsze ciało ma i dwa razy większą prędkość, i trzy razy większą massę niż drugie; będzie zatém miało sześć razy większą siłę, aniżeli drugie.

A zatém: *znayduiemy siłę bieżącego ciała mnożąc iego massę przez prędkość.* Więc massę znaydziémy dzieląc siłę przez prędkość. Więc prędkość znaydziemy, dzieląc siłę przez massę. Dwoiakim przeto sposobem dochodzimy prędkości bieżącego ciała, albo dzieląc iego drogę przebieżoną przez liczbę oznaczaiącą czas (218) albo dzieląc siłę przez massę.

225. Nazwiymy iednego ciała prędkość P, massę M, siłę S.

Nazwiymy drugiego ciała prędkość p, massę m, siłę s.

Będzie zatém, $S = MP$.

I znowu . . $s = mp$.

226. A zatém $S : s = MP : mp$.

To iest: *gdy siły są nierównie, maią się w stosunku składanym z mass i prędkości.*

227. Niech $P = p$. będzie $S : s = M : m$.

To iest: *gdy prędkości są równe, siły maią się iak massy.*

228. Niech $M = m$. (226). Będzie $S : s = P : p$.

To iest: *gdy massy są równe, siły maią się iak prędkości.*

229. Niech nakoniec będzie $S = s$. (226), będzie zatém $MP = mp$.

A zatém $M : m = p : P$.

To iest: *gdy siły są równe, natenczas massy są w stosunku odwrotnym prędkości.*

§ 21. *O Biegu iednostaynie przyśpieszonym.*

230. Wszelkie ciała, ieśli nie są utrzymywane od drugich, spadaią na ziemię: iest to skutek, który codziennie postrzegać możemy. Im z wyższego mieysca ciało spada, tém mocniéy uderza, więc ma większą siłę. Siła znayduie się mnożąc massę przez prędkość (224), a że spadaiącego ciała nie powiększa się massa, więc prędkość iego powiększać się musi.

231. Przypuśćmy, że powiększa się prędkość stosownie do powiększonego czasu. Podług tego przypuszczenia, ieśli ciało spadaiące przebiega *np.* w iednéy sekundzie pręt ieden, więc w czasie podwóynym powinno mieć prędkość podwóyną, a zatém w dwóch sekundach przebieży prętów 4. W czasie potróynym, będzie prędkość trzy razy większa; więc w trzech sekundach przebieży prętów 9. A zatém w cztérech sekundach prętów 16. i t. d.

To iest: *drogi przebieżone w czasach razem uważanych, maią się iak kwadraty z czasów, albo kwadraty z prędkości.*

To przypuszczenie potwierdza się doświadczeniem uważaiąc ciała spadaiące z rozmaitych wiadomych wysokości. Możemy przeto w dochodzeniach fizycznych robić różne przypuszczenia, a z pomiędzy tych, te będą prawdami oczywistémi, które utwierdzonemi zostaną przez doświadczenia.

232. Gdy przez iednę sekundę spadaiąc ciało, ubiega pręt ieden, a we dwóch sekundach prętów 4, więc w samey drugiéy sekundzie przebiega prętów 3. Przez trzy sekundy ubiega prętów 9, a przez dwie sekundy ubiega prętów 4, więc w saméy trzeciéy sekundzie przebiega prętów 5. Więc w czwartéy sekundzie spadania, ubieży prętów 7. Więc w piątéy, ubieży 9 prętów; w szóstéy 11 prętów, i t. d.

To iest: *drogi przebieżone w czasach osobno uważanych maią się iak liczby nieparzyste* 1. 3. 5. 7. 9. 11. 13. 15. 17. 19 i t. d.

Taki bieg ciał zowie się iednostaynie przyspieszonym, dla tego iż iednostaynie powiększa się prędkość w każdym następnym czasie.

Przykłady. 1. Ciało spada z iakiéy wysokości przez 8 sekund, iaka ta iest wysokość? będzie (231) prętów 64.

2. Jaką drogę przebiega ciało w dwunastéy sekundzie? W dwunastu sekundach przebiega 144 prętów, a w 11 sekundach przebiegło prętów 121; więc w saméy 12téy sekundzie przebieży $144 - 121 = 23$ prętów.

Albo tak: Daną liczbę czasu rozmnożyć przez 2 i odiąć od iloczynu 1. reszta będzie drogą przebieżoną w czasie danym *np.* $12 \times 2 = 24$, a $24 - 1 = 23$ i t. d.

235. Gdy doświadczenia okazuią, że ciała samowolnie spadaiąc, biegu przyśpieszaią, musi więc bydź iakaś siła skutek ten sprawuiąca. Siłę tę nazwano *ciężkością* (*gravitas*): a zatém każde ciało dla siły ciężkości spada na ziemię kierunkiem pionowym i cięży na nię. A że wszystkie ciała, iakiéykolwiek massy, puszczone z iednakowych wysokości, razem spadaią na ziemię; więc wszystkie ciała maią iednakową siłę ciężkości, dla któréy, wszystkie biegiem iednostaynie przyśpieszonym spadaią; ale nie iednakową będą miały siłę uderzenia: bo ta zależy od massy i prędkości (224).

Czemuż piórko i kamyk z iednéy wysokości puszczone razem nie spadaią na ziemię? to pochodzi od oporu powietrza, który usunąwszy, ile można, okaże się iż ciała iakieykolwiek massy, czyli iak nazywamy lekkie i ciężkie razem spadną z iednéy wysokości puszczone.

Na okazanie tego, niech będzie walec szklanny dęty wysokości *np.* 2 stopy, maiący osadę metalową AA (*Oddział II. Tablica I. Figura* 1.) w którą iest wśrubowana sztuczka *D.* napełniona kilkonastu skurkami, aby przez nie przechodzący pręt ME, można podnosić, opuszczać i obracać nie wpuszczaiąc powietrza w walec szklanny. U końca pręta ME iest krążek E maiący wycinek przy E. Na tym krążku leżą rączki ruchome C, c. c. i t. d. Na każdą rączkę położyć trzeba po dwa ciała nie iednakowéy wagi, *np.* piórko i śrócik, kłaczek bawełny i kamyk i t. p. Tę osadę włożyć na walec szklanny, okitować woskiem, i postawić na talerzu machiny pneumatycznéy. Po dostateczném rozrzedzeniu powietrza, obrócić pręt ME tak, aby która rączka przypadła na wycinek w krążku, natychmiast rączka opadnie, i dwa ciała na niéy będące razem spadną na talerz machiny pneumatyczněy.

Można to doświadczenie wykonać następuiącym sposobem. Walec szklanny dęty wysokości *np.* 3 stopy, ma oprawy metalowe w obudwu swoich otworach: w ten walec wrzucić kilkanaście kulek iednakowéy wielkości ale nieiednakowéy wagi *np.* z różnych gatunków drzewa, rdzeniów, metalów i t. p. Jedna oprawa walca powinna mieć śrubę z kruczkiem: zaśrubowawszy zatém ten walec do talerza machiny pneumatycznéy, i dostatecznie rozrzedziwszy w nim powietrze, zamknąć otwór śruby w oprawie kruczkiem, wyśrubować walec z talerza machiny, i przewracaiąc go, można przekonać się, że wszystkie kulki na dno iego razem spadaią.

234. Prawdy o biegu iednostaynie przyśpieszonym wyprowadzone z doświadczenia, można ieszcze rozebrać matematycznym sposobem: do tego służą liczby, znaki literalne albo linije, które, podług wiadomych iuż doświadczeń, kombinuiąc z sobą, i rzecz wiadomą w krótkości wyrazimy, i nowe prawdy wyłuszczymy.

Niech liniia AD (*Oddział II. Tablica I. Figura* 2.) wystawia trzy sekundy to iest AB, BC, CD. Jakożkolwiek krótkie są te czasy, możemy ie dzielić na nieskończenie małe chwilki: podzielmy pierwszy czas AB na sześć chwilek *np.* *Aa*, *ac*, *ce*, *eg*, *gi*, *i B*. i t. d. Ponieważ prędkości rosną w tym samym stosunku iak czasy (231); niechże prędkość nabytą na końcu piérwszéy chwilki wyraża liniia *ab*. będzie prędkość na końcu drugiéy chwilki wyrażona liniią *cd* dwa razy tak wielką iak *ab*. Podobnież prędkość na końcu trzeciéy chwilki nabyta, będzie trzy razy tak wielka iak *ab*. i t. d. a zatém prędkość na końcu szóstéy chwilki oznaczy się liniią

BE. sześć razy tak wielką iak *ab*. A zaś tróykąt ABE, wystawiać będzie drogę przebieżoną prędkością iednostaynie przyśpieszoną w czasie piérwszym AB.

Przypuśćmy teraz iż ciało nie ma siły ciężkości; więc daléy pobieży prędkością BE na końcu pierwszego czasu nabytą, i w czasie BC przebieży BE × BC (218) więc tę drogę przebieżoną wyobrazić można przez kwadrat BF, który dwa razy iest tak wielki iak tróykąt ABE. Ale że i w drugim czasie podlega ciało sile ciężkości, równie iak w piérwszym, więc do BF przydać ieszcze trzeba tróykąt EFH dla siły ciężkości: to iest, w drugim razie przebieży drogę trzy razy tak wielką iak w piérwszym i t. d.

235. Powiedzieliśmy dopiéro, iż gdyby ciało biegło prędkością BE przez czas BC, przebiegłoby BE × BC = BCFE = 2 ABE. To iest: *gdyby ciało biegło prędkością nabytą na końcu iakiego czasu, przebiegłoby drogę dwa razy tak wielką iak prędkością przyśpieszoną przez tenże czas.*

236. Dla podobieństwa tróykątów ACH, ABE

iest $AC^2 : AB^2 = ACH : ABE$

albo $CH^2 : BE^2 = ACH : ABE$.

To iest kwadraty z czasów albo z prędkości maią się iak drogi przebieżone czyli iak wysokości z których ciało spada.

237. Z dwóch poprzedzaiących proporcyy, mogą bydź dwie następuiące:

$$AC : AB = \sqrt{ACH} : \sqrt{ABE}$$

$$\text{albo } CH : BE = \sqrt{ACH} : \sqrt{ABE}.$$

To iest: *czasy, albo prędkości na końcu ich nabyte, maią się iak pierwiastki z dróg przebieżonych, czyli iak pierwiastki z wysokości któr. ciało przebiegło.*

238. Te prawdy o biegu iednostaynie przyśpieszonym można i tak okazać. Niech liniia AE (*Oddział II. Tablica I. Figura* 5) wystawia pionową wysokość z któréy ciało spadaiąc, przebiega ią w trzech sekundach. Podzielmy tę wysokość AE na 9 równych części: a zatém (232) na końcu pierwszéy sekundy będzie ciało spadaiące w mieyscu 1. czyli, przebieży drogę A 1. Na końcu drugiéy sekundy, będzie w mieyscu 4, czyli, przebieży drogę od 1 do 4 trzy razy tak wielką iak A 1. Na końcu trzeciéy sekundy będzie na 9, czyli w trzeciéy sekundzie przebieży od 4 do 9 to iest pięć razy tak wielką drogę iak A 1.

Ciało znayduiąc się na punkcie A, nié ma żadnéy prędkości, nabywa iéy dopiéro spadaiąc: ta prędkość powiększa się ciągle przez cały czas spadania, czyli w nieskończenie małych chwilkach czasu; ale uważaymy ią powiększoną na końcu każdéy sekundy. Ponieważ w drugiéy sekundzie przebiega ciało trzy razy tak wielką drogę iak w piérwszéy; więc do pierwiastkowéy prędkości, przybywa mu ieszcze na końcu pierwszéy sekundy a na początku drugiéy prędkość dwa razy większa: więc gdyby tą prędkością na końcu pierwszéy sekundy nabytą biegło ciało przez czas pierwszéy sekundy; przebiegłoby drogę dwa razy większą, aniżeli przebiega od prędkości iednostaynie przyśpieszonéy i t. d.

§ 22. *O Biegu iednostaynie opóźnionym.*

239. Doświadczenia okazuią iż wyrzucone ciało do góry opóźnia biegu takim sposobem, iak przyśpieszało puszczone z iakiéy wysokości. Jeśli *np.* rzucone iest do góry taką siłą iż w pierwszéy sekundzie ubiega prętów 7 tedy w drugiéy

sekundzie dla oporu powietrza, a szczególniéy dla siły ciężkości któréy kierunek iest na dół, ubieży tylko prętów 5. w trzeciéy prętów 3, w czwartéy 1. Tu straciwszy całą siłę od rzutu, puści się ciężkością swoią na dół i spadać będzie biegiem iednostaynie przyśpieszonym: przebieży zatém w piérwszéy sekundzie pręt 1. w drugiéy prętów 3, w trzeciéy 5, w czwartéy prętów 7, i na ziemi zostanie. Jednakowy zatém czas bieży ciało do góry i spada na dół. Maiąc zatém wiadomy ten czas, łatwo można wyznaczyć wysokość do iakiéy było wyrzucone. Daymy że bieg ciała do góry i na dół trwa przez 10 sekund; więc biegło do góry przez 5 sekund, a przez drugie 5 sekund spadało na ziemię, a zatém przebiegło wysokość 5×5=25 (231).

§ 23. *O Biegu składanym.*

240. Jeśli ciało bieżące podlega iednéy tylko sile, bieg iego zowie się poiedynczym, iéśli zaś podlega więcéy iak iednéy sile, bieg stąd powstaiący zowie się składany.

241. Kierunki sił nakłaniaiących ciało do biegu albo 1° mogą bydź w iednę stronę: albo 2° wprost sobie przeciwną; albo 3° kierunki sił mogą czynić kąt iaki.

Co do piérwszego przypadku: Jeśli kierunki sił są w iednę stronę; ciało podlegać będzie obudwu siłom: *np.* iedna siła niech będzie wyrażona liczbą 4 a druga liczbą 5, ciało mieć będzie siłę wyrażoną liczbą 9.

Co do drugiego przypadku: Jeśli kierunki sił są wprost sobie przeciwne; na tenczas te siły, albo sobie są równe, albo nierówne: ieśli są równe, tedy iedna siła sprawi skutek a druga go zniszczy, czyli ciało zostanie w spoczynku. Jeśli są nierówne siły,