szczegółowy opis maszyny o ściśnionem powietrzu do wyrzucania pocisków. Maszyna ta, składająca się z 2-ch cylindrów metalowych o szczelnie dopasowanych tłokach, jest zatem protoplastą naszej strzelby wiatrowej, oraz pompy powietrznej. Znajdujemy w tym tomie opis tokarki, na której wykonano owe cylindry i tłoki. Dalekonośność tych machin wojennych dochodziła do 700 *m*, była zatem bardzo wielką, wyrzucały zaś kamienie mające 4 pudy. Istniał ścisły podział katapultów, zależny od konstrukcyi, sprawności i rodzaju pocisków jakie wyrzucały. Budowano te machiny z twardego drzewa, wzmacnianego żelaznem okuciem. Niektóre części były całe żelazne. Philon dokładnie przepisuje co i gdzie ma być okute, jakich rozmiarów żelazem i t. p.

O sposobie wytapiania żelaza u greków wiemy bardzo mało. Z Hezyoda dowiadujemy się, że wyrabiano je w „samotnych leśnych kuźniach". Ci leśni kowale byli sami poszukiwaczami rudy i węglarzami, sami też przywozili swój wyrób na rynki miejskie, skąd do właściwych kuźni się dostawał.

Grecy, którzy początkowo lepsze gatunki stali sprowadzali z Małej Azyi, z czasem tak udoskonalili swój przemysł, że sami wywozili niektóre wyroby, jak np. miecze lakońskie. Teofrast, ateński filozof z stulecia IV-go prz. Chr., odkrywa nam ciekawy fakt zastosowania węgla kamiennego, a nawet koksu przez greckich kowali. Nazywa on ten materyał palnym kamieniem i porównywa z asfaltem, a raczej bitumicznym łupkiem z Lippary, używanym przez greków jako paliwo.

Podług Teofrasta umieją greccy kowale „zgęszczać" palny kamień, aby dawał większy żar. Przypuszczamy, że chodzi tu o koksowanie węgla. Tenże pisarz, objaśniając dosyć nieudolnie sposób wytapiania żelaza z rudy, powiada, że oprócz rudy i węgla dodawany jest do pieca kamień „pyromachos", celem uzyskania czystszego żelaza. Bliżej jednak nie określa owego kamienia. Nie może to być nic innego jak tylko topnik, może kamień wapienny, dodawany dla łatwiejszego tworzenia się żużla.

(C. d. n.). *Zygmunt Bielski*, inż.

Oznaczenie pracy niezbędnej do utrzymania ciał w powietrzu.

I.

Artykuł inż. p. K. Monikowskiego podany w № 40 r. b. Przeglądu Technicznego nasunął mi uwagi następujące:

Gdy ciężar G spada w powietrzu ze stałą prędkością c (opór powietrza przy tej prędkości równoważy siłę ciążenia), to niewątpliwie praca siły ciążenia na sekundę $= Gc$. Jest to jasne bez dalszych rozważań i rachunków. Tak więc słuszność w sporze, o którym wspomina p. Monikowski, jest po stronie prof. Gostkowskiego, a nie po stronie p. Budau, który znalazł dla tej pracy $\frac{Gc}{2}$. O ile jednak mogę wywnioskować z przedstawienia rzeczy przez p. Monikowskiego, to pp. Budau i Gostkowskiemu chodziło nie tylko o wynik, lecz również i o punkt wyjścia rachunku. Zdaje się, że postawili oni sobie zadanie następujące: Wyznaczyć pracę ciężaru G, spadającego w powietrzu ze stałą prędkością c, *ze skutków, jakie ta praca wytwarza.* Zagadnienie postawione w taki sposób nie jest wcale łatwe do rozwiązania, gdyż mamy tu do czynienia ze zjawiskami wielce złożonemi i mało zbadanemi doświadczalnie. Dlatego też rachunki obydwóch panów opierają się na założeniach zupełnie dowolnych.

Praca ciążenia w danym wypadku sprawia przynajmniej dwa skutki odrębne. Wywołuje ona ogrzewanie ciała spadającego, jak to wiadomo chociażby z żarzenia meteorytów, i nadaje masom powietrza siłę żywą. Aby zbliżyć się możliwie do wywodów pp. B. i G., przypuśćmy, że na pierwszy z tych skutków wychodzi część pracy znikomo mała w porównaniu z całością; tak więc cała praca, wykonywana przez ciążenie na sekundę, przechodzi w $\frac{m v^2}{2}$, gdzie m oznacza masę powietrza wprawioną w ruch w czasie sekundy, a v prędkość tej masy. O tych wielkościach m i v nie da się nic określonego powiedzieć. Spadające ciało zaznacza w powietrzu co sekunda pionowy cylinder, czy pryzmat, którego przekrój poziomy $= A$, t. j. przekrojowi poziomemu ciała, a długość $= c$. Z tego cylindra ciało wytłacza w ciągu sekundy powietrze, którego objętość $= c\,A$, a następnie taka sama ilość powietrza wypełnia cylinder ponownie. Taka więc objętość powietrza, wprawionego w ruch co sekundę, wynosi co najmniej $2\,c\,A$, a masa $m = \frac{2\sigma c A}{g}$, gdzie σ oznacza ciężar gatunkowy powietrza. Lecz ruch powietrza odbywa się nie tylko wewnątrz owego cylindra, ale i w jego okolicach, niewątpliwie zatem masa wprawiona w ruch jest znacznie większa. Wbrew temu p. Budau przyjmuje, że $m = \frac{\sigma c A}{g}$, a $v = c$. Gdyby p. B. wziął dwa razy większą masę powietrza, to rachunek jego doprowadziłby do wyniku, zgodnego z prawdą, co jednak nie dowodziłoby jeszcze trafności założeń. Według prof. Gostkowskiego $v = 2\,c$, a $m = \frac{G}{2\,c}$. Założenia te prowadzą do dobrego wyniku, lecz mniej jeszcze wzbudzają zaufania od poprzednich. Jeżeli opór powietrza, równoważący ciążenie, ma wynosić $\frac{\sigma}{g} A\,c^2 = G$, to z owych założeń prof. G. wynika, że $m = \frac{\sigma c A}{2\,g}$, co jest w każdym razie bardzo dalekie od prawdy. Sądzę, że rachunki pp. B. i G. nie rzuciły żadnego nowego światła na daną sprawę.

W dalszym ciągu swego artykułu p. Monikowski przytacza swe własne pomysły, stojące w związku z kwestyą poprzednią. Pierwszy z tych pomysłów polega na twierdzeniu, które da się krótko wysłowić, jak następuje: jeżeli pewne ciało pozostaje w spoczynku, a porusza się *cała masa* otaczającego powietrza z prędkością c, to parcie powietrza na ciało $= W$, jeżeli natomiast powietrze pozostaje bez ruchu, a porusza się ciało z prędkością c, to parcie wynosi $2\,W$. Zdaje się, że twierdzenie takie nie da się utrzymać, gdyż skutek jest jeden i ten sam czy ciało pozostaje w spoczynku, a powietrze się porusza, czy też naodwrót powietrze jest bez ruchu a ciało się porusza.

I na drugi pomysł p. M. nie mogę się zgodzić. Pragnie p. M. wyznaczyć pracę potrzebną do utrzymania w powietrzu swobodnego ciężaru G, przyczem ciężar ten nie powinien ani wznosić się ani opadać. Przychodzi p. M. przytem do wniosku, że w czasie dt ciążenie odbywa nad nieruchomym ciężarem pracę $dE = \frac{Gg}{2}\,dt$, a w ciągu sekundy $\frac{Gg}{2}$, i zdaniem p. M. taką właśnie pracę potrzeba wykonać na sekundę, aby ciężar nie spadał. Ależ skoro ciężar pozostaje w spokoju, to siła ciążenia nie pracuje. Gdyby p. M. dobrze rachował, to jego dE powinno być równe zeru, i tyleż dałaby $\int dE$. Jeżeli rachunek p. M. jest słuszny, to również i hak wykonywa co sekundę pracę $\frac{G\,g}{2}$ gdy na nim wisi ciężar G.

Ciężar G można utrzymać w powietrzu rozmaitymi sposobami. Najprościej jest zawiesić go na haku, osadzonym nieruchomo i wówczas nie potrzeba wykładać żadnej pracy. Można dalej zawiesić ciężar u kotwicy elektromagnesu. W tym razie potrzeba co sekundę zużywać pracę $i^2 r$, gdzie i oznacza siłę prądu w cewce, a r— opór uzwojenia elektromagnesu. P. M. chce utrzymać ciężar zapomocą wstępującego pionowo strumienia powietrza, skierowanego na ciężar. Tą drogą da się może kiedyś ocenić pracę ptaka, bujającego w spokojnem powietrzu, lub maszyny latającej. Jeżeli mnie pamięć nie myli, to taki właśnie był punkt wyjścia w odnośnych poszukiwaniach Helmholtz'a, ale rachować trzeba zupełnie inaczej, niż to uczynił p. M.

Przyjmiemy, że przekrój owego strumienia powietrza $= A$, t. j. największemu przekrojowi poziomemu bujającego ciała, a prędkość $= v$. Taką prędkość potrzeba nadać co sekundę masie powietrza $\frac{\sigma v A}{g}$, na co wychodzi praca $E = \frac{\sigma v A}{g}\,\frac{v^2}{2} = \frac{\sigma v^3 A}{2\,g}$. Gdyby przekrój strumienia był wiele razy większy od A, to v byłoby równe c, t. j. owej stałej prędkości spadania; w naszym jednak wypadku v jest niewątpliwie większe od c i może będziemy niedalecy od prawdy, przyjmując, że $v = 2\,c$. Z drugiej strony opór powietrza w czasie owego równomiernego spadku $W = G = \frac{\sigma}{g} A\,c^2$, lub $G = \frac{\sigma A v^2}{4\,g}$. Rugując v z ostatniego równania i z $E = \frac{\sigma v^3 A}{2\,g}$, znajdziemy $E = 4\sqrt{\frac{g\,G^3}{\sigma A}}$.

Dla przykładu obrachujmy, ile wyjdzie pracy na utrzymanie w powietrzu kuli, ważącej 1 *kg*, o średnicy r. W tym razie $G=1$ i $A=\pi r^2$, a więc $E=\frac{4}{r}\sqrt{\frac{g}{\sigma\pi}}$. Ponieważ $g=9{,}8$, a $\sigma=1{,}3$, zatem $E=\frac{6{,}2}{r}$. Jeżeli kula jest zrobiona z materyału o gęstości wody, to $r=62$ *mm* i $E=\frac{6{,}3 \cdot 10^3}{62}=100$ *kgm/s*. Gdybyśmy zrobili z tego samego materyału kulę dętą o średnicy $^1/_2$ *m*, to E byłoby równe $\frac{6{,}2 \cdot 10^3}{225}=27$ *kgm/s*.

I te rachunki jednak mogą być dalekie od prawdy. Opierają się one na tem przypuszczeniu, że opór powietrza jest proporcyonalny do kwadratu prędkości, co jest wątpliwe.

Z. Straszewicz, inż.

II.

Powyższa krytyka mojego artykułu przekonała mnie, że nie zostałem należycie zrozumiany.

Pracując od dłuższego czasu nad zagadnieniami żeglugi powietrznej, spotykam się w najnowszej literaturze tego przedmiotu z kwestyami, które pozwalają mi nawiązać moje własne poglądy do poglądów innych badaczów i snuć w ten sposób nić teoretycznych badań, po których przechodzi się do doświadczalnych rezultatów.

Do jednej z takich kwestyi należy oznaczenie pracy, niezbędnej do utrzymywania ciał w powietrzu. Czytając artykuł prof. Gostkowskiego, miałem wyrobiony pogląd, że praca oporu powietrza, jaką powinno przemódz ciało, spadające ze stałą prędkością c w atmosferze powietrznej, jest $G \cdot c$ i poparłem prof. G. argumentem, że ciało to można rozpatrywać, jako spuszczające się o c metrów na sekundę pod wpływem siły ciążenia. Daleko mniej chodziło mi o drogę, po której postępowali pp. Budau i Gostkowski, ażeby dojść do oznaczenia pracy siły ciążenia. W artykule swoim przytoczyłem obie te drogi bez poddania ich krytyce; wobec jednak zdania p. Straszewicza, że rachunki pp. Budau i Gostkowskiego nie rzuciły wcale światła na daną sprawę, pragnąłbym zaznaczyć, że prace tych panów mają to znaczenie, iż rzucają pewne światło na mechanizm zjawisk, towarzyszących spadaniu ciał; stanowią więc przyczynek, mający pewien filozoficzny charakter.

Przechodząc do czynionych mi przez p. Str. zarzutów, muszę sprostować redakcyę *mego pierwszego pomysłu*, jak chce p. Str. i powiedzieć, że w moim artykule niema twierdzenia, że „jeżeli pewne ciało pozostaje w spokoju, a porusza się cała masa otaczającego powietrza z prędkością c, to parcie powietrza na ciało $=W$, jeżeli natomiast powietrze pozostaje bez ruchu, a porusza się ciało z prędkością c, to parcie wynosi $2W$". W artykule moim w № 40, na str. 531, w wierszu 11 szpalty II-ej, przytoczyłem wyraz dla oporu powietrza $W=\frac{\sigma}{g}A\,c^2$, używany przez pp. B. i G.; w dalszym jednak ciągu umieściłem krytykę tego wzoru i doszłem do wniosku, że opór powietrza, jaki przemaga ciało, spadające ze stałą prędkością c, wynosi $2 \cdot \psi \cdot \frac{\sigma}{g} \cdot A \cdot c^2$. O utrzymaniu ciała przez pęd powietrza wspomniałem dopiero w 26—30 wierszach tejże szpalty i zaznaczyłem krótko, że prędkość powietrza c powinna być oznaczona w „wyprowadzony powyżej" sposób. Bezwarunkowo w ostatnim wypadku współczynnik ψ powinien otrzymać znaczenie większe, niż jedność. Bliżej jednak tej kwestyi nie analizowałem dla braku danych doświadczalnych i dla małego zastosowania wyników tych badań do praktyki.

Dalej szanowny krytyk zarzuca mi *złe rachowanie*, przypuszcza albowiem, że gdy ciężar zawieszony jest w powietrzu, to o pracy siły ciążenia mowy być nie może. W odpowiedzi na to mógłbym przytoczyć prawo o niezależności działania sił, t. j. prawo, według którego wszelka siła, przyłożona do punktu materyalnego, wykonywa swoją pracę tak, jakby innych sił wcale nie było. W dziele Franke'go „Mechanika Teoretyczna" (str. 163, § 74) znajdujemy, iż „dla równowagi sił przyłożonych do jednego punktu potrzeba i wystarcza, aby suma algebraiczna prac przygotowanych tych sił była równa zeru dla każdego przesunięcia przygotowanego tego punktu". W myśl tego prawa nawet wielka siła może być zrównoważona przez małą, jeżeli droga przygotowana tej ostatniej jest odpowiednio większa. Praktyczne zastosowanie tego prawa znajdujemy chociażby w przekładni, gdzie większa siła, działająca na krótsze ramię, może być zrównoważona przez mniejszą, działającą na odpowiednio dłuższe ramię. Przykładem więcej zbliżonym do zjawisk, towarzyszących utrzymywaniu się ciał przy pomocy wentylatora, będzie następujący:

Wyobraźmy sobie, że płyniemy z równomierną prędkością i w tym samym kierunku co i statek, poruszający się ze stałą prędkością w; jeżeli woda przeciwdziała ruchowi statku z siłą Q, to praca przeciwdziałania wyrazi się przez $Q \cdot w$. Z doświadczenia wiadomo, że dla przeciwdziałania powyższej pracy niezbędnem i dostatecznem jest, ażeby praca pożyteczna śrub wynosiła równo Qw, pozatem jest zupełnie obojętnem, czy siła pociągowa śrub jest większa czy mniejsza. Obserwatorowi, płynącemu z prędkością w i w kierunku statku będzie się zdawało, że statek stoi na miejscu, a dla przeciwdziałania przyłożonej doń sile Q niezbędną jest praca pożyteczna śruby Qw. Gdyby obserwator wywnioskował, że siła Q nie pracuje, ponieważ on nie widzi przesuwania się statku, to wniosek taki byłby mylny, wiadomo albowiem, że praca Qw nie może przeistaczać się w siłę Q.

Zupełnie analogiczne zjawisko moglibyśmy zaobserwować przy utrzymywaniu ciężaru G przez wentylator; obserwator albowiem, w którym działanie siły ciążenia zrównoważone jest przez działanie siły reakcyi, znajduje się w jednakowych warunkach co i ciężar, którego siła ciążenia G jest zrównoważona przez pracę wentylatora $\frac{Mv^2}{2}$ (gdzie M — masa poruszanego powietrza i v — prędkość, jaką ta masa otrzymuje pod działaniem wentylatora) i przypuszczenie, że siła G nie pracuje, należałoby uważać za mylne. Równanie przeto prac wyrazi się przez

$$G \cdot h=\frac{Mv^2}{2},$$

gdzie h—pewna droga siły G.

Lecz równanie to ma miejsce i wtedy, gdy masa poruszanego powietrza M równa się masie ciążącej M_1 i gdy przyspieszenie v, jakie otrzymuje ta masa, równa się przyspieszeniu siły ciążenia $g=9{,}81$, lecz praca wentylatora w tym wypadku wyrazi się przez:

$$G \cdot h=\frac{Mv^2}{2}=\frac{M_1 g^2}{2}.$$

$M_1\,g$ równa się sile ciążenia G, a zatem

$$Gh=\frac{M_1 g^2}{2}=\frac{Gg}{2},$$

skąd $h=\frac{g}{2}$.

Podstawiając znaczenie h w powyższe równanie, otrzymamy:

$$\frac{Gg}{2}=\frac{Mv^2}{2}.$$

Co się tyczy równowagi prac, gdy ciężar zawieszony jest na haku, to zdeformowany hak wywiera ciśnienie na ciało. Ciśnienie to, będąc przyłożone do masy materyalnej, przekształca się w siłę reakcyi, której działanie wnet się objawia przez uiszczenie pracy siły ciążenia.

W podobny sposób oddziaływa reakcya oporu powietrza, gdy ciało spada równomiernie z prędkością c. Gdyby opór, oraz reakcya oporu nie oddziaływały na spadające ciało, to pod wpływem siły ciążenia ciało otrzymywałoby przyspieszenie g metrów na sekundę. Jeżeli masa spadającego ciała $=M_1$, a początkowa prędkość jego c, to energia kinetyczna w początku sekundy wyrazi się przez $Q_1=\frac{M_1\,c^2}{2}$, w końcu zaś sekundy $Q_2=\frac{M_1\,(c+g)^2}{2}=$ $=\frac{M_1\,c^2}{2}+M_1 cg+\frac{M_1\,g^2}{2}$; pod wpływem przeto siły ciążenia energia kinetyczna ciała spadającego zwiększa się w przeciągu sekundy o

$$P_1=Q_2-Q_1=M_1 \cdot c \cdot g+\frac{M_1 g^2}{2},$$

lecz $M_1 \cdot g=G$ jest siła ciążenia spadającego ciała,

$$P_1=G \cdot c+\frac{Gg}{2}.$$

Przy działaniu oporu powietrza energia kinetyczna spadającego ciała nie zwiększa się, praca zaś oporu wynosi tylko

$$P_2=G \cdot c,$$

pozostała przeto energia $P_1-P_2=\frac{Gg}{2}$ idzie na przeciwdziałanie pracy siły reakcyi. Jak widzimy, praca siły reakcyi jest stała i nie zależy od stanu spoczynku ciała lub ruchu. Oczywiste, że i w tym wypadku nie potrzebujemy wydatkować specyalnej ener-