

List otwarty do Elona Muska, NASA, ESA oraz wszystkich świętych kosmicznej branży – czyli dlaczego ludzie powinni pchać się w kosmos.

Pod koniec sierpnia 2022 roku, startem rakiety SLS z pojazdem kosmicznym Orion na jej szczycie, miała rozpocząć się misja Artemis I. W związku z ujawnianymi usterkami odpalenie silników kilkakrotnie odkładano, ostatecznie wspomniany komplet wystartował 16 listopada 2022 roku, a sama kapsuła wróciła na Ziemię niecały miesiąc później – 11 grudnia. Celem całego, skądinąd nadzwyczaj kosztownego programu, jest wysłanie ludzi na Księżyc – i w zasadzie niemal natychmiastowy ich powrót. W pierwszym etapie nikt w kosmos nie poleciał, w misji Artemis II, aktualnie planowanej na kwiecień 2026 roku, załoga tylko z góry popatrzy na Księżyc, kilka razy go okrążając. Dopiero w misji Artemis III, o ile wszystko po drodze pójdzie gładko, kilka osób wyląduje na Księżycu, na którym chwilę zabawi.

I to w zasadzie wszystko, jeśli chodzi o szumnie zapowiadany powrót człowieka na Księżyc. Powrót? Bądźmy poważni, to nie jest powrót, tylko co najwyżej wyskok. Niewiele więcej sensu widać w kolejnym planowanym etapie tak zwanego podboju kosmosu, jakim będzie stała baza orbitująca nad Księżycem. Tylko tym się będzie różnić od aktualnie eksploatowanej stacji ISS, że będzie dużo dalej, co oznacza bardziej kosztowny transport ludzi oraz środków zapewniających ich przetrwanie. Jedyne w stałej bazie funkcjonującej na powierzchni Księżyca jakiegos sensu można się dopatrzeć, o ile prowadzi do realizacji przedsięwzięcia, które w dalszej części listu zechcę zaprezentować.

W wypowiedziach wielu prominentnych osób zaangażowanych w program Artemis przebijała się wtedy ekscytacja, w podobnym tonie komentowali wszystkie okołostartowe wydarzenia dziennikarze: „Bezzałogowa misja Artemis 1 to największa rakiet świata – Space Launch System (SLS) – wraz z nowoczesnym statkiem kosmicznym Orion...”. Z podobną sensacją mieliśmy do czynienia kilkadziesiąt lat wcześniej, chociaż inne były wtedy okoliczności. Najważniejszą z nich stanowił wyścig zbrojeń między dwoma mocarstwami: Związkiem Sowieckim i USA, którego pseudopokojową emanację stanowiła ich rywalizacja w zdobywaniu przestrzeni kosmicznej. W ciągu zaledwie dziesięciu lat dokonał się niebywały postęp organizacyjny i technologiczny w tym zakresie, zwieńczony lądowaniem człowieka na Księżycu. Pojawiły się zatem śmiałe wizje, że do końca XX wieku loty orbitalne staną się codziennością dostępną dla kosmicznych turystów, ludzkość zacznie kolonizować Księżyc, zrealizowane też zostaną pierwsze załogowe misje na Marsa.

Niestety, marzenia fantastów, w większości miłośników literatury i filmów SF, zderzyły się z twardymi realiami ekonomicznymi, czy nawet zwyczajnym pragmatyzmem. Owszem, z biznesowego punktu widzenia rozwój technologii bezzałogowych aparatów wynoszonych na orbitę ziemską, od tych najniższych aż po geostacjonarne, okazał się sensowny – czyli zyskowny. Jednak skrajnie wątpliwe pod tym względem jest wysyłanie ludzi nawet w najbliższą nam przestrzeń kosmiczną. Załogowe loty w kosmos można – jak na razie – uzasadnić traktując je tylko jako badania naukowe. I nie chodzi tu o to, że ludzie na stacjach orbitalnych są niezastąpieni do przeprowadzania takich czy innych badań, bo 99,9% eksperymentów da się przeprowadzić wykorzystując zdalnie sterowane lub autonomicznie działające stanowiska. W zasadzie wszystko sprowadza się do badań na samych ludziach, czyli ustalenia, jaki wpływ mają warunki panujące w przestrzeni kosmicznej (przeciążenia w czasie startu czy lądowania, długotrwały stan nieważkości, promieniowanie) na kondycję fizyczną i psychiczną oddelegowanego w kosmos personelu.

Powiedzmy sobie szczerze i brutalnie: to jest jedyny efekt dziesięcioleci wysyłania ludzi w przestrzeń kosmiczną, w większości lotów przestrzeń bardzo przyziemną – bo czym jest marny dystans czterystu kilometrów wobec międzyplanetarnych odległości, które z kolei są znikomo małe w porównaniu do międzygwiazdnych otchłani. Pozaziemskich podróżników zebrał się już mały tłumek, blisko pięćset osób, z czego wyprawę przeżyło 96% (osiemnaście osób zginęło). Ginęli też ludzie na Ziemi, w trakcie przygotowań, treningów i prób do lotów – tutaj śmiertelnych przypadków było prawie sto (o ile takich czy innych zdarzeń nie utajniono lub nie przypisano do innych kategorii wypadków). Wydano przy tym niewyobrażalne pieniądze.

I cóż to wszystko dało naszej ziemskiej cywilizacji? Czy którykolwiek z ludzi wysłanych w kosmos dokonał jakiegos niebywałego odkrycia? A może stworzył unikalny wynalazek, którego nigdy nie dałoby

się wymyśleć tutaj, na powierzchni Ziemi? Nic mi nie wiadomo o takich przypadkach. Oczywiście są te wszystkie argumenty pokazujące, ile niesamowitych technologii powstało w trakcie rozwijania programów kosmicznych, ale opracowano je (i w miarę możliwości starannie sprawdzono) **przed** wysłaniem kolejnych ekip na ziemską orbitę czy Księżyc, więc w zasadzie ci ludzie mogli już nigdzie nie lecieć. A gdyby naprawdę trzeba było przetestować jakieś nowinki technologiczne w realnych warunkach przestrzeni kosmicznej, zamiast ludzi można tam było wysłać małpy czy świnię.

OK, nawet małpa (a tym bardziej świnka) nie odpowiedziałaby po powrocie na proste pytanie: „Jak tam było?” Zatem wysyłamy w kosmos ludzi, z którymi można nieustająco rozmawiać, zarówno przed lotem, w jego trakcie oraz po zakończeniu lotu. Można też ich starannie badać, zarówno przed podróżą, jak i po jej zakończeniu (na samej stacji orbitalnej zakres badań diagnostycznych jest chwilowo mocno ograniczony).

Ze wszystkich kosmicznych czynników niekorzystnie wpływających na zdrowie fizyczne i psychiczne ludzi nie potrafimy na powierzchni Ziemi wygenerować tylko jednego: długotrwałego stanu nieważkości. Całą plejadę pozostałych tortur można doskonale odtworzyć czy zasymulować, i to nieporównywalnie niższym kosztem. Jeśli tylko się znajdą ochotnicy, można ich radośnie napromieniowywać, poddawać przeciążeniom i wibracjom, hałasowi lub wręcz przeciwnie – deprywacji sensorycznej, można też kilka osób zamknąć w ciasnej klatce na pół roku czy rok i zobaczyć, czy się w końcu nie zechcą pozabijać. Więc dopóki nie uda się w ziemskich laboratoriach wygenerować „porządnego” stanu nieważkości (skądinąd są już pierwsze obiecujące rezultaty – już ponad dwadzieścia lat temu pewna żaba lewitowała w silnym polu magnetycznym), tylko ten stan pozostaje jedynym pretekstem, z naukowym podtekstem, do organizowania kolejnych załogowych lotów w kosmos.

Dużo się ostatnio mówi (i pisze) o turystyce kosmicznej. Turystyka pod pewnymi względami jest jak „prawdziwa” nauka: ktoś, kto wydaje pieniądze na badania podstawowe, nie powinien oczekiwać, że uzyska rezultaty dające wymierne, finansowe rezultaty, przynajmniej nie w dającej się przewidzieć przyszłości. Podobnie turysta, który kupuje dwutygodniowe wczasy w egzotycznym zakątku świata, również nie powinien oczekiwać, że cokolwiek z tej kwoty uda mu się odzyskać. On ma po prostu wydawać pieniądze, bawić się i odpoczywać. Na turystyce zarabiają jej organizatorzy.

W takim razie turystyka kosmiczna jest nadzieją na to, że „pasażerska gałąź” tej branży ma biznesową przyszłość, co w końcu przełoży się na zwiększenie tempa ekspansji gatunku ludzi w bliższą i dalszą przestrzeń kosmiczną. Nie wszystkim jednak podoba się ta ewentualnie świetlana przyszłość pasażerskich lotów kosmicznych. W chwili obecnej, zważywszy na wykorzystywane środki transportu, nadniebna (w opozycji do podniebnej) turystyka jest skrajnie antyekologiczna. Orbitalny podróżnik zużywa tyle zasobów, co tysiąc pasażerów długodystansowego rejsu lotniczego albo milion cyklistów oddających się weekendowej przejażdżce rowerem.

Na razie nie widać wyjścia z sytuacji bez wyjścia. Przez najbliższe dziesięciolecie jesteśmy skazani na korzystanie z archaicznych, co do zasady działania, chemicznych napędów rakietowych, wynalezionych przynajmniej 800 lat temu. Nawet najnowocześniejsze, aktualnie budowane rakiety niczym się – co do podstawowej zasady działania – nie różnią od tych, którymi Chińczycy próbowali razić Mongołów broniąc się w oblężonym mieście Kajfeng, w 1232 roku. W przypadku wynoszenia ładunków na wokółziemską orbitę głównym problemem nie jest zresztą wykorzystywane źródło (czy też nośnik) energii, ale sama idea napędu odrzutowego, w której pojazd odpycha się od siebie samego. Dajcie mi punkt podparcia, a uczynię loty w kosmos stukrotnie bardziej efektywne pod względem energetycznym!

Przyznam się w tym momencie, że sam jestem miłośnikiem literatury i filmów SF, marzyłem jako dzieciak o pozaziemskich podróżach, więc też byłem w pewnym momencie bardzo rozczarowany, gdy doszedłem do tych wszystkich ponurych konstatacji, które zawarłem w powyższym wstępie. Nawet się trochę dziwię, ale jednocześnie cieszę, że istnieją na świecie instytucje (mające wystarczająco duży poziom przyzwolenia społecznego na ich finansowanie), dla których jednym z celów jest organizowanie załogowych lotów w kosmos. Jest też pewien człowiek – Elon Musk, któremu kibicuję przynajmniej w niektórych przedsięwzięciach. Jego działalność biznesowa powszechnie wzbudza spore kontrowersje (a ostatnia polityczna – jeszcze większe), niemniej podoba mi się to, że zamierza (przynajmniej według tego,

co od dawna deklaruje) dużą część zgromadzonego majątku przeznaczyć na projekt wręcz absurdalny z ekonomicznego punktu widzenia, czyli na kolonizację Marsa.

Wydaje mi się jednak, że jest o dziesięciolecia za wcześnie na realizację tak wytyczonego celu, i tylko po części chodzi tu o kwestie ekonomiczne. Może on, oczywiście, wydać nawet cały swój majątek na to, aby kiedyś umrzeć na Marsie, i to niekoniecznie (jak sam to powiedział) w momencie lądowania na jego powierzchni, ale jest w bliższym nam, Ziemianom, kosmosie przedsięwzięcie o wiele ważniejsze, o wiele pilniejsze – i naprawdę potrzebne całej ludzkości. Mam nadzieję, że argumenty, które za chwilę przedstawię, trafią kiedyś do niego i wpłyną ostatecznie na zmianę priorytetów, które sobie wyznaczył. Te same argumenty adresuję również do wszystkich agencji kosmicznych, a na przekór temu, co do tej pory pisałem o załogowych lotach, przedsięwzięcie, które mam na myśli, jest warte tego, aby załogowe loty w kosmos organizować, a technologie temu służące rozwijać w taki sposób, aby kosmiczne podróże były coraz bezpieczniejsze, coraz tańsze i coraz bardziej powszechne.

Koncepcja nie jest nowa, wymyślono ją co najmniej w latach sześćdziesiątych dwudziestego wieku. Wyobraźmy sobie, że na powierzchni Księżyca zbudowano najpierw pierwszą bazę załogową, później drugą. Dzieli je odległość kilkudziesięciu kilometrów w linii prostej. Przydałby się jakiś ekonomiczny, szybki i bezpieczny transport między nimi, więc zaprojektowano i zbudowano elektryczną kolej szynową z wagonami zawieszonymi na poduszce magnetycznej. Ze względu na brak tarcia oraz doskonałą próżnię kolej jest faktycznie bardzo ekonomiczna, wystarczy na początku rozpędzić wagony do sporej prędkości, która będzie utrzymywała się bez dodatkowych nakładów energii dowolnie długo. Pod koniec podróży trzeba tylko wagony wyhamować, najlepiej odzyskując energię kinetyczną (ładując przy tym baterie akumulatorów).

Nie ma tarcia, tor magnetyczny ustawimy w idealnej linii prostej, więc na pierwszy rzut oka nie widać limitów prędkości, jakie ten rodzaj transportu może osiągać. 360 km/h, czyli 100 m/s? Żaden problem, przy odpowiednim napędzie elektrycznym równie dobrze może to być kilometr, pięć czy dziesięć kilometrów na sekundę. Warto jednak od razu zauważyć, że dla Księżyca pierwsza prędkość kosmiczna to zaledwie 1,68 km/s, więc po rozpędzeniu się do takiej prędkości pasażerowie kolei znajdą się w stanie nieważkości, w zasadzie orbitując tuż nad jego powierzchnią. Niewiele więcej potrzeba, aby po prostu odskoczyć od toru i faktycznie wejść na jakąś orbitę wokół Księżyca, dokonując po drodze tylko drobnych korekt lotu napędem odrzutowym.

Druga prędkość kosmiczna dla Księżyca, czyli taka, która pozwala odlecieć od niego na dowolną odległość, wynosi niewiele więcej: 2,38 km/s. Budując zatem na Księżycu kolej elektryczną powstanie przy okazji wyrzutnia kosmiczna, pozwalająca w ekonomiczny sposób wrócić na Ziemię lub polecieć w kierunku innych planet Układu Słonecznego. A Księżyc stanie się tym wypatrywanym przeze mnie punktem podparcia, który sprawi, że loty w międzyplanetarną przestrzeń staną się stukrotnie bardziej efektywne pod względem energetycznym niż porównywalne tonażem ekspedycje wykorzystujące na początku podróży silniki rakietowe (odrzutowe). Trzeba jeszcze tylko dodać małe sprostowanie: tor kolei nie będzie linią prostą, tylko wycinkiem koła, mniej więcej zgodnego co do wymiarów z księżycowym równikiem (i prawdopodobnie blisko niego położonym).

Spróbujmy znaleźć jakąś dobrą nazwę dla tej instalacji. Pierwszy oczywisty (nawiązujący do SLS) pomysł to Lunar Launch System, w skrócie LLS. Zważywszy jednak na to, że jest to wielki elektromagnes na Księżycu (big ELECtromagnet ON the Moon), być może przyjmie się skrót „ELON the Moon”.

Taka czy inna nazwa to sprawa drugorzędna, istotne znaczenie ma fakt, że jest to sposób naprawdę ekonomiczny w porównaniu do napędu rakietowego (odrzutowego), szczególnie w sytuacji, gdy chcemy osiągnąć duże prędkości. Uwaga - teraz zacznie się prawdziwa jazda!

Po zauważalnym przekroczeniu prędkości 1,68 km/s stan nieważkości zamieni się w ciążenie, ale skierowane odwrotnie do grawitacji Księżyca. Pasażerowie będą mieli wrażenie, że Księżyc znajduje się nad ich głowami. Będą mogli chodzić wewnątrz wagonów po ich suficie, który stanie się podłogą. W miarę wzrostu prędkości ta pozorna grawitacja będzie coraz szybciej się zwiększać, mniej więcej proporcjonalnie do kwadratu prędkości.

Założmy, że nie chcemy przekraczać trzykrotnego przyspieszenia ziemskiego, takie przeciążenie wytrzyma każdy przeciętnie zdrowy człowiek, pół-leżący na odpowiednim fotelu. Osiągniemy je dla prędkości wagonów równej 7,35 km/s. Jest to całkiem dobry wynik, z taką prędkością można w miarę sensownie organizować załogowe podróże na Marsa. Usiłując to samo zrobić jednym skokiem z powierzchni Ziemi wydatkowalibyśmy nieporównywalnie większe nakłady energii, nie wspominając o zanieczyszczeniu atmosfery spalonym w olbrzymich ilościach paliwem rakietowym.

Zastosowanie skafandrów przeciwprzeciążeniowych pozwala znieść dużo więcej, niech to będzie 10 g. Osiągniemy je przy prędkości wagonów równej 13,16 km/s. Jest to niemal dwa razy więcej niż poprzednio, warto jednak przetrzymać kilkuminutowy dyskomfort na początku drogi, aby czas jej pokonania skrócić dwukrotnie.

Gdy rozważamy transport towarów albo wysyłanie pojazdów bezzałogowych, nie ma sztywno ograniczonego limitu wytrzymywanego przeciążenia, pozostaje to kwestią zastosowanych technologii i wybranych rozwiązań konstrukcyjnych. Dopuszczając przeciążenie 53 g jesteśmy w stanie wystrzelić, za pomocą księżycowej kolei elektrycznej, ładunki z prędkością 30 km/s. Jest to już olbrzymia prędkość, i to z daleka od ziemskiej grawitacyjnej studni, praktycznie nie do osiągnięcia za pomocą klasycznych napędów chemicznych. Tylko napęd jonowy, wspomagany nuklearnym zasilaniem, pozwoli kiedyś przekroczyć takie prędkości, jednak potrzebowałby on wielu miesięcy czasu na mozolne rozpędzanie pojazdu.

Wróćmy jednak do naszej kolei, w przypadku której na pewno pojawią się problemy dotyczące samej jej konstrukcji: układu napędowego oraz bezstykowego zawieszenia wagonu. Może niekoniecznie wagonu, tylko czegoś w rodzaju jeżdżącej platformy bazowej, na stałe związanej z torem i zawierającej składniki systemu napędowego oraz generacji poduszki magnetycznej. Te komponenty są nieustająco potrzebne w momencie rozpędzania ładunku wyrzucanego w przestrzeń kosmiczną – i są też całkowicie zbędne w tej przestrzeni. Niech zatem w kosmos leci tylko to, co niezbędne.

Tymczasem to, co nie polecie, czyli platforma rozbiegowo-dobiegowa, musi działać bezstykowo, przenosząc gigantyczne siły. Przypuśćmy, że jej masa wynosi 1000 kg. Z takim samym dodatkowym ładunkiem rozpędzonym do 30 km/s będzie wyrywać się z toru z siłą miliona niutonów. Pisząc po ludzku, dwutonowy ciężar będzie ciążył tak, jak na Ziemi stutonowy. Aby droga rozpędzania nie była absurdalnie długa, przyspieszenie poziome też powinno być odpowiednio duże.

No właśnie, jak długi powinien być tor kolei? Zaczynając od możliwie najkrótszych, pozwalających na osiągnięcie minimalnej prędkości podróźnej rzędu 2,5 km/s i poziomego przyspieszenia równego 3 g daje nam to drogę równą 106 km. Do tego dystansu trzeba doliczyć – założmy – dodatkowe 14 km toru, na którym opróżniona z ładunku platforma wyhamuje, mniej więcej z ośmiokrotnie większym przeciążeniem niż przy rozpędzaniu ładunku (23 g względem 3 g).

Wybudowanie na Ziemi kolei, nawet szybkiej i magnetycznej, z torem o długości 120 kilometrów, nie wydaje się przesadnie trudnym czy kosztownym przedsięwzięciem, jednak w warunkach Księżyca, z zerową infrastrukturą techniczną na początku kosmicznej przygody ludzkości, jest na razie poza zasięgiem czyichkolwiek oraz jakichkolwiek możliwości. Jedyny realny sposób postępowania to metoda kolejnych, niewielkich kroków. Na początek powinna powstać niewielka baza księżycowa, stopniowo wyposażona w taki sposób, aby coraz więcej rzeczy dało się wykonać i zbudować korzystając z surowców dostępnych na miejscu. W pewnym momencie zostanie osiągnięty taki poziom, że lokalnie będzie powstawać niemal wszystko – budynki, maszyny, urządzenia. Z Ziemi na Księżyc będą dowożone – i to też przejściowo – tylko mikroprocesory, antybiotyki i nasiona. No i ludzie, rzecz jasna.

I już mamy wizję podboju kosmosu na najbliższe kilkadziesiąt lat. Na początek powinna powstać ta baza księżycowa – albo kilka baz, które w pierwszej kolejności powinny stać się niemal całkowicie samowystarczalne i zdolne do nieograniczonego rozwoju, bazując na lokalnie wydobywanych surowcach. W następnej fazie rozpocznie się budowa kolei kosmiczno-magnetyczno-elektrycznej, o sukcesywnie przedłużanym torze. Już 20-kilometrowy pozwoli na zwrotny transport ładunków – z powierzchni Księżyca na orbitę Ziemi lub na jej powierzchnię. Po osiągnięciu 120 km możliwy będzie w miarę komfortowy i ekonomiczny transport ludzi – z Księżyca na Ziemię (w odwrotną stronę jeszcze długo

transport będzie mało ekonomiczny). Prędkość bliska 7,5 km/s (graniczna dla przeciętnych ludzi ze względu na pojawiające się przyspieszenie dośrodkowe) wymaga toru o długości ponad 1000 km. Trzeba jednak zauważyć, że w tym konkretnym przypadku mamy do czynienia z pionowym przyspieszeniem dośrodkowym równym 3 g (pod koniec rozpędzania) i poziomym przyspieszeniem (stałym od początku drogi), co w sumie da nieakceptowalne 4,2 g (pod koniec rozpędzania). Zmniejszenie przeciążenia poziomego, a w sumie przeciążenia całkowitego, wymaga wydłużenia drogi – powiedzmy do 1500 km.

Zastosowanie skafandrów przeciwprzeciążeniowych i osiągnięcie 13 km/s przekłada się na tor o długości 4 – 5 tysięcy kilometrów. A to już połowa długości księżycowego równika, przedłużenie toru aż do ostatecznego jego zamknięcia w okrąg będzie finałem przedsięwzięcia. Od tego momentu znikną limity dotyczące poziomego przyspieszenia (nie trzeba się będzie też wysilać z napędem, aby osiągnąć określoną prędkość), w dodatku ładunek będzie można uwalniać w każdym punkcie kołowej trasy, co z kolei umożliwi jego ekspedycję w dowolnym momencie i w dowolnym kierunku Układu Słonecznego. Tor w budowie, czyli jeszcze otwarty, będzie na początku kierowany w stronę Ziemi, a inne kierunki będą dostępne tylko w określonych konfiguracjach Ziemi i Księżyca (dany kierunek będzie otwierał się na jakiś czas mniej więcej raz w miesiącu).

Zamknięcie toru kolei w równikowy okrąg dodatkowo podniesie funkcjonalność całej instalacji. Pozwoli mianowicie obniżyć koszty lądowania na Księżycu (lub zwiększyć masę transportowanego ładunku) pojazdów kosmicznych, czy to wysyłanych z Ziemi, czy wracających z innych planet Układu Słonecznego. Taki pojazd musi tylko wejść na orbitę Księżyca i powoli obniżyć ją do spotkania z rozpędzoną – do prędkości 1,68 km/s – platformą. Po zatrzaśnięciu uchwytów nastąpi etap hamowania, z odzyskaniem energii kinetycznej przycumowanego pojazdu. Całość procesu deorbitacji nie wydaje się przesadnie trudnym manewrem, a najważniejszy zysk jest taki, że nie trzeba zużywać paliwa raketowego niezbędnego do klasycznego lądowania.

Dużo trudniejsze byłoby „złapanie” kolejką pojazdów zmierzających do Księżyca z większą prędkością. Teoretycznie rzecz biorąc może to być nawet (dla bezałogowych obiektów) 30 km/s, ale w takiej sytuacji należy osiągnąć wyjątkową precyzję i synchronizację trajektorii pojazdu i rozpędzonej platformy kolejki. W razie nieudanego manewru lądowania (mamy tylko jedno podejście!) taki pojazd minie Księżyc i odleci daleko w przestrzeń, w niesprzyjających warunkach opuści na zawsze Układ Słoneczny (o ile nie będzie wyposażony w dodatkowy, wydajny system odrzutowy). A gdy w podobny sposób zechcą na Księżycu wylądować ludzie, z prędkością podróżną 5 – 8 km/s, powtórne podejście do lądowania będzie możliwe za wiele miesięcy oraz będzie wymagało wykorzystania dodatkowego, klasycznego napędu odrzutowego.

Bardzo możliwe, że po zbudowaniu pierwszego kołowego toru (albo nawet wcześniej) zacznie powstawać tor drugi – a może i trzeci, z wykorzystaniem rozwijanych w międzyczasie technologii zwiększających nośność i wydajność instalacji. Chociaż jeden z kolejno budowanych powinien być zdecydowanie ukośny względem pozostałych, równikowych (być może przechodząc przez bieguny), co pozwoli na ekspedycję pojazdów w przestrzeń poza płaszczyznę ekliptyki.

Tymczasem nie warto tak daleko wybiegać w przyszłość, niech powstanie chociaż jedna księżycowa linia kolejowa, i to w najskromniejszej wersji. I nawet w tej najskromniejszej wersji musi być jakoś zasilana, a energia elektryczna konwertowana na kinetyczną rozpędzanej platformy z ładunkiem. Załóżmy, że samo zawieszenie na poduszce magnetycznej nie jest przesadnie energochłonne (nadprzewodzące magnesy nie zużywają energii, jest ona potrzebna tylko do ich chłodzenia), natomiast rozpędzanie wymaga całkiem dużo. Przypuśćmy, że chcemy wystrzelić w kierunku Ziemi pojazd załogowy o całkowitej masie 5 ton, z przyspieszeniem poziomym równym 3 g. Moc potrzebna do rozpędzania takiego pojazdu będzie proporcjonalnie wzrastać w miarę jego rozpędzania. Jeśli zechcemy osiągnąć 2,5 km/s, pod koniec rozbiegu ta moc osiągnie wartość 375 MW. To całkiem sporo, tyle produkuje nielicha elektrownia. A czy ktoś wyobraża sobie, jaką aktualnie mają masę najbardziej sprawne i lekkie silniki elektryczne o mocy blisko 400 MW? Obawiam się, że są to dziesiątki ton, tymczasem my chcemy rozpędzić skromne pięć. Trzeba też zwrócić uwagę na to, że nawet zakładając znakomitą sprawność rzędu 98% wytworzy się przy tym rozpędzaniu 8 megawatów ciepła, które gdzieś trzeba pochłoniąć i rozproszyć.

Widać więc jasno, że sam aktywny napęd trzeba umieścić w torze szynowym, a platforma rozbiegowa będzie tylko biernym zestawem magnesów nadprzewodzących. Kolejne elektromagnesy w torze będą aktywne w znikomym krótkim czasie, gdy w zasięgu ich działania będzie przemieszczać się ta platforma, więc będą w stanie dostarczać w impulsach wielką moc, nie zdążą przy tym przesadnie się nagrzać (ciepło strat rozproszy się wzdłuż długiego toru). W takim razie nie ma sensu budować jednej czy nawet kilku elektrowni rozmieszczonych z rzadka wzdłuż toru, chyba trzeba po prostu równolegle obok niego instalować panele słoneczne oraz zestawy akumulatorów. Jeśli te komponenty będą odpowiednio trwałe (jest jeszcze trochę czasu na rozwój stosownych technologii), w ostatecznym rozrachunku powstanie samoszasilająca się instalacja, czyli prawie darmowa w toku dalszej eksploatacji.

Już tylko w uzupełnieniu tych obliczeń dodam, że rozpędzenie podobnego, 5-tonowego wagonika, również z przyspieszeniem 3 g, ale do prędkości 30 km/s, będzie wymagało finalnie blisko 5000 MW, czyli 5 GW. Dla porównania, największa na Ziemi elektrownia atomowa, która działa w Japonii, generuje niewiele więcej – 7,9 GW. Mocniejsze są hydroelektrownie, ale takich na Księżycu się raczej nie zbuduje. O atomowych można pomyśleć, ale te panele słoneczne z akumulatorami, instalowane łącznie z przedłużaną sukcesywnie linią kolejową, wydają się równie dobrym albo jeszcze lepszym rozwiązaniem.

Gdy już tor będzie zamknięty w okołorównikowy okrąg, można zrezygnować z akumulatorów. Przecież cały czas połowa Księżyca jest oświetlana przez Słońce. W takiej sytuacji będzie potrzebna solidna magistrala energetyczna biegnąca obok instalacji, aby przenieść te gigawaty energii z jasnej na zacięniętą stronę Księżyca. Wspomniałem jednak, że po zamknięciu toru w okrąg nie trzeba się przesadnie spieszyć z rozpędzaniem. Gdy zmniejszymy przyspieszenie dziesięciokrotnie, to i zapotrzebowanie na moc spadnie dziesięciokrotnie. Rozpędzanie do 30 km/s zajmie co prawda jakieś dwie godziny zamiast 17 minut, ale cóż znaczą te godziny względem pozostałego czasu podróży liczonego w miesiącach czy latach?

Pozostajemy na razie przy najskromniejszej, 20-kilometrowej kolei, zdolnej wysyłać w kierunku Ziemi towary z prędkością 2,5 km/s. Jakże to mogą być towary?

W tym momencie warto trochę oderwać się od schematów dotyczących pozyskiwania i przetwarzania surowców, schematów ukształtowanych na Ziemi, w zdecydowanie innych niż księżycowe warunkach. Jeśli w niemal dowolnym miejscu na Ziemi czy Księżycu zgarniemy na łopatę trochę gruntu, to jakie pierwiastki przede wszystkim się na niej znajdą? Będzie to tlen, krzem, wapń, glin, magnez i żelazo, w różnych proporcjach, często też znajdą się inne pierwiastki. Na Ziemi warto trochę w niej pogrzebać i znaleźć miejsca zasobne w określone minerały, na Księżycu raczej nie warto. W trakcie budowania i przedłużania kolejki trzeba brać to, co jest „pod ręką” i odpowiednimi technologiami pozyskiwać konkretne pierwiastki. Najważniejsze są trzy: tlen, krzem i glin. Otrzymamy z nich doskonałe izolatory: szkło kwarcowe (SiO_2) czy szafirowe (Al_2O_3), oraz doskonały przewodnik – aluminium (na Ziemi tak doskonały to on nie jest, głównie ze względu na obecność atmosfery i utlenianie się oraz tworzenie nieprzewodzących warstw na stykach między oddzielnymi fragmentami przewodów). Aluminium z odpowiednimi dodatkami jest też świetnym materiałem konstrukcyjnym.

Tych kilka materiałów, wysłanych z Księżyca na nieprzesadnie wysoką orbitę Ziemi, będzie stanowić 98% masy kolejno budowanych stacji orbitalnych – przestronnych i komfortowych, na przykład w kształcie wirującego powoli wielkiego pierścienia (wirowanie generuje sztuczną grawitację). Z aluminium powstanie zasadniczy szkielet stacji oraz większość konstrukcji, podzespołów i mechanizmów składających się na jej wyposażenie, z ceramiki nieprzejrzystej i ceramiki przejrzystej wykonane zostaną przeszklenia oraz termiczna izolacja.

Przez kolejne dziesięciolecia może powstać wiele takich stacji, o łącznej masie choćby dziesiątków tysięcy czy milionów ton. Dopiero z wykorzystaniem na pozór odległej, ale bardzo praktycznej księżycowej kolei elektryczno-kosmicznej oraz dostępnych w jej okolicy minerałów stanie się to sensownym przedsięwzięciem. Taszczenie takich samych ilości prostych materiałów z powierzchni Ziemi, na dystans nominalnie tysiąc razy krótszy (400 km względem 380 000 km), byłoby tysiące razy droższe pod względem energetycznym, mogłoby też do reszty zrujnować ziemską atmosferę. Nie zanoszę się przecież na opracowanie, w ciągu najbliższych pięćdziesięciu lat, napędów lepszych niż klasyczne i chemiczne. Jedyne, co w tym zakresie można zrobić, to wymusić stosowanie jako raketowego paliwa

wodoru, a nie ciekłych czy gazowych węglowodorów. Słysząc co prawda krytyczne głosy osób narzekających na olbrzymie koszty budowy i eksploatacji rakiet SLS (w programie Artemis) oraz permanentne problemy je trapiące, w dużej części związane z gromadzeniem, transportowaniem i przetwarzaniem ciekłego wodoru, jednak tańsze technologie, bazujące na ciekłych czy skroplonych węglowodorach (metan, nafta) są dopuszczalne tylko jako przejściowe rozwiązanie, gdy z Ziemi w kosmos startuje raptem jedna czy dwie ekspedycje rocznie.

Wróćmy jednak do naszego ekonomicznego i czystego systemu księżycowej wyrzutni (LLS). Nie tylko budowa wokółziemskich stacji orbitalnych stanie się o wiele łatwiejsze, tak samo będzie z zasiedlaniem Marsa. Można przygotować na Księżycu całą potrzebną (na tej innej planecie) i mocno rozbuchaną infrastrukturę oraz tanio przetransportować ją na Marsa, a później wysłać na niego setki czy tysiące kolonistów (być może większość z nich urodzi się już na Księżycu, transport ludzi z Ziemi na Księżyc nieustająco będzie bardzo drogi). Można też rozesłać na wszystkie strony Układu Słonecznego mnóstwo produkowanych (wręcz seryjnie) na Księżycu sond kosmicznych. Dopiero dysponując księżycową koleją stanie się możliwy faktyczny podbój najbliższego nam kosmosu.

Cywilizacja Ziemian ma niebywałe szczęście, że w pobliżu jej macierzystej planety znajduje się akuratny obiekt – nie za duży, nie za mały, z doskonałą próżnią na jego powierzchni. Niewielka grawitacja, ale przede wszystkim brak atmosfery, są kluczowymi czynnikami pozwalającymi na zbudowanie kosmicznej stacji przesiadkowej z prawdziwego zdarzenia. Można sobie wyobrażać budowę podobnej instalacji wprost na Ziemi, ale tutaj trzeba osiągnąć prędkości co najmniej 8 km/s, co jest nierealne w gęstym oceanie atmosfery. Niech nawet rozpędzanie przeprowadzone będzie w próżniowej rurze długiej na kilka tysięcy kilometrów, jednak w końcu z tej rury trzeba wyskoczyć – i w tym momencie dojdzie do zderzenia z gęstą atmosferą, w której stutonowy pojazd spali się i/lub wyparuje w kilkanaście sekund (na szczęście ewentualni pasażerowie pojazdu tego nie doczekają, w pierwszym ułamku sekundy od spotkania z atmosferą zginą zgniecieni przeciążeniem 500 g). To może wynieśmy koniec rury wysoko, gdzie atmosfera jest mocno rozrzedzona? Ok, trzeba wyjść przynajmniej 20 kilometrów w górę, wznosząc stopniowo rurę na dystansie setek kilometrów. Na razie jest to nierealne, ludzie nawet nie przekroczyli głupiego kilometra w punktowych obiektach. Może za pięćset lat jakaś gigantyczna instalacja tego typu powstanie, na razie zrobimy coś skromniejszego, na Księżycu.

Jest jeszcze jeden czynnik, o którym nie wspominałem, przemawiający za pilnym rozpoczęciem prac zmierzających do zbudowania tej księżycowej kolei. Stanie się ona najważniejszą tarczą chroniącą Ziemię przed upadkiem asteroidu znaczącej wielkości. Załóżmy, że ma on masę miliarda ton – jeśli wyślemy w jego kierunku i doprowadzimy do zderzenia serię ładunków o łącznej masie tysiąca ton i względnej prędkości 30 km/s, na tyle zmieni to jego trajektorię, że do zderzenia z Ziemią nie dojdzie. Trzeba tylko taki manewr wykonać przynajmniej kilka lat przed wyznaczoną datą upadku asteroidu.

Tak duże obiekty są zwykle wystarczająco długo monitorowane, więc raczej zdążymy odpowiednio wcześniej zareagować. Problemem są mniejsze obiekty, które też stanowią (w proporcji mniejsze) zagrożenie, ale odkrywa się je niemal w ostatniej chwili. Te same tysiąc ton wystrzelone bardzo późno mogą okazać się jednak całkiem skuteczne, gdyż zadziałają na dużo mniejszą masę (też w wystarczającym stopniu zmieniając jej trajektorię).

Jeśli te wszystkie względy nie podziałają na wyobraźnię „kosmicznych decydentów”, przytoczę ostateczny argument, który (taką przynajmniej mam nadzieję) skłoni odpowiednie czynniki rządowe najbogatszych krajów do zainwestowania w prezentowaną powyżej instalację. Księżycowa kolej kosmiczna może być użyta jako potężna broń. Głupie kilka ton odpowiednio ukształtowanego metalu wystrzelonych z Księżyca z prędkością 2,5 km/s spadnie na Ziemię osiągając ponad 11 km/s, uzyskując „za darmo” blisko 20-krotnie większą energię kinetyczną (tutaj początkowy pęd pocisku wzmocni ziemską grawitacja). Być może jego większość spali się w gęstej atmosferze, ale pozostała część zadziała jak duża, klasyczna bomba, choćby wybuchająca wysoko w atmosferze, wywołując jednak niszczącą falę uderzeniową. Z kolei tysiąc ton rozpędzonych na Księżycu do 30 km/s, wspomagane grawitacją Ziemi, zadziała na niej jak mała bomba atomowa (zdetonowana w atmosferze). Takich spadających z kosmosu pocisków nie da się niczym zestrzelić, nawet wybuchającym w ich pobliżu ładunkiem jądrowym, bo to nie są klasyczne, delikatne w konstrukcji urządzenia (na przykład rakiety z precyzyjnym sterowaniem), tylko

„prymitywna”, rozpędzona, wielka i bezwładna masa. W dodatku żadne miejsce na Ziemi nie będzie bezpieczne, co najwyżej okolice biegunów będą dla pocisków wystrzelonych z Księżyca trochę mniej dostępne (pociski polecą tam skośnie do atmosfery, co przełoży się na dłuższą drogę ich wstępnego hamowania).

Szanowni Generałowie z Pentagonu! Nie poczulibyście się przynajmniej lekko zaniepokojeni w sytuacji, gdyby to Chiny jako pierwsze państwo na świecie zaczęło budowę swojej instalacji LLS? Amerykanie – chyba nie dacie się wyprzedzić w tym nowym wyścigu zbrojeń? Europa, w skład której wchodzi rozwinięte gospodarczo i technologiczne kraje, też mogłaby się trochę wysilić i zorganizować na początek zbiórkę funduszy zdecydowanie wykraczającą ponad standardowe sponsorowanie agencji ESA. Formalnie rzecz biorąc suma gospodarek przodujących krajów Europy przewyższa swoim potencjałem gospodarkę amerykańską czy chińską, jednak bogaci Europejczycy wydają się rozleniwieni dotychczasowym spokojem i pokojem w ich najbliższym otoczeniu i raczej niechętnie będą się godzić na wydatki przekraczające ułamek procenta z ich dotychczasowych dochodów na coś, co nie przyniesie im w kolejnych dziesięcioleciach zauważalnych korzyści. W takich sytuacjach przewagę mają dyktatury, w których przywódca gotów jest choćby zagłodzić zastraszone i potulne społeczeństwo, aby tylko mieć swoje kosztowne, militarne zabawki. Tak się szczęśliwie zazwyczaj składa, że w wyścigu naukowo-technologicznym totalitarnie rządzone kraje pozostają w tyle za resztą demokratycznego świata. Jedynym wyjątkiem są wspomniane na początku akapitu Chiny, co do których naprawdę mogą być w nieodległej przyszłości powody do niepokoju.

Nawiasem pisząc, księżycowa elektryczno-kosmiczna kolej byłaby wdzięcznym tematem niejednej książki czy filmu SF. Już sobie wyobrażam rozmaite historie toczące się w trakcie budowy instalacji lub po jej zakończeniu, jakieś katastrofy kosmiczne w tle, nieudane przechwycenie powracającej załogi, najazd obcych odpierany wyrzucanymi kolejną pociskami, atak terrorystów usiłujących przejąć kontrolę nad kolejną a później zapanować nad całym światem. Żadnej tego typu opowieści jeszcze nie zauważyłem, ale nikogo nie chcę przekonywać, że przeczytałem wszystkie książki SF i obejrzałem wszystkie filmy. Ale bajki bajkami a historie historiami, niemniej organizacja, która będzie dysponowała opisywaną instalacją (ktoś w końcu musi się tym zająć), naprawdę będzie miała kiedyś w garści portal łączący Ziemię z ludzkimi koloniami rozlokowanymi w najbliższym kosmosie: na Marsie, co większych asteroidach po drodze do Jowisza, być może na kilku jego księżycach oraz księżycach Saturna (tutaj też mogą powstać wyrzutnie). Dużo dalej robi się naprawdę zimno...

Szanowny Panie Elonie Musk! Jest Pan chyba jedyną osobą na Ziemi, która może włączyć się w ewentualną rywalizację między Chiny a resztą świata w zakresie budowy LLS (lub używając innego skrótu: ELON the Moon). Choćby dlatego, że nawet skrajnie despotyczna dyktatura nie jest w stanie przeznaczyć większości swoich zasobów na to przedsięwzięcie – a Pan może. Zatem uprzejmie proszę przemyśleć swoją dalekosiężną strategię podboju kosmosu. Czy naprawdę warto pchać się od razu na Marsa, bez zbudowania po drodze wyjątkowo solidnego wsparcia, jakim będą księżycowe bazy i kolej elektryczno-kosmiczna? Z punktu widzenia człowieka zarówno na Księżycu jak i na Marsie tak samo nie ma atmosfery, rozdarty skafander tu i tam skończy się śmiercią przez uduszenie. Grawitacja na obydwu ciałach niebieskich jest mniejsza niż na Ziemi, chociaż z tym ostatecznie nie będzie problemu (można zbudować coś w rodzaju „ukośnej” wirówki mieszkalnej, rozpiętej na okręgu o dużej średnicy, wirującej w taki sposób, aby spotęgować lokalną grawitację – i najlepiej zrobić to na torze magnetycznym, aby nie zużywać przesadnie dużo energii na utrzymanie wirówki w ruchu). Czy to na Księżycu, czy na Marsie, cywilizację trzeba będzie ostatecznie rozwijać jako samowystarczalną, bez oglądania się na dostarczane z Ziemi surowce, komponenty czy siłę roboczą.

Jednak kolonizacja Księżyca jest łatwiejsza niż kolonizacja Marsa, a w początkowej fazie zdecydowanie bardziej bezpieczna dla jej uczestników. W razie problemów zdrowotnych w miarę szybki – w ciągu kilku dni – powrót chorego z Księżyca na Ziemię wydaje się realny, uda się też w zbliżonym czasie podrzucić coś pilnie potrzebnego z Ziemi na Księżyc. W przypadku Marsa podobne akcje są nierealne. W kontaktach Ziemi z kolonistami Księżyca jest wyobrażalna i sensowna wymiana usług – wykorzystanie kolei elektryczno-kosmicznej w zamian za unikalne drobiazgi wytworzone czy istniejące na Ziemi, w przypadku Marsa pozostaje liczyć na dobrą wolę Ziemi. Co ci ostatni mogliby dostać z Marsa

w zamian za wspomniane wcześniej mikroprocesory, antybiotyki czy nasiona? Kilogramy skał do badań? Na dłuższą metę to trochę za mało.

Panie Elonie Musk, zwróciłem uwagę na przedsięwzięcie o nazwie The Boring Company, usiłujące rozwijać podziemny, szybki transport. Pomyślałem sobie, że szykuje Pan technologie niezbędne do uruchomienia księżycowej kolei (zawieszenie magnetyczne, bezstykowy napęd, przemieszczanie się w próżni), ale nie znalazłem później żadnej wzmianki na temat jedynie słusznej kontynuacji ekspansji w bliższą i dalszą przestrzeń kosmiczną. Nie przypuszczam też, aby snuł Pan jakieś tajne plany w zakresie zbliżonym do tego, o czym do tej pory się rozpisywałem, zresztą podobnego kalibru zamierzenia trudno byłoby na dłuższą metę ukryć. Proszę w takim razie przenieść The Boring Company na Księżyc, a zapisze się Pan złotymi zgłoskami w Cywilizacyjnej Księdze Postępu. Kto wie zresztą, czy nie ocali Pan w ten sposób ludzkość przed zagładą, o ile tak się przypadkiemłoży, że księżycową kolej uda się uruchomić w ostatniej chwili przed odkryciem wielkiej kosmicznej skały na kursie kolizyjnym z Ziemią.

Apeluję też do wszystkich agencji kosmicznych o wsparcie tego wielkiego projektu lub w razie konieczności objęcia – przez najbardziej zainteresowaną i najbardziej energiczną – przywództwa organizacyjnego oraz wyasygnowania poważnych środków na szczegółowe opracowanie projektu, rozpisanie na pomniejsze zadania oraz stopniową ich realizację. Na pewno w początkowej fazie budowy kolei księżycowej niezbędni będą ludzie wyposażeni w odpowiedni sprzęt, zatem konieczne jest organizowanie załogowych wypraw kosmicznych, do sensowności których zgłaszałem na wstępie swoje zastrzeżenia, lecz teraz w całości je odwołuję. Przypuszczam, że w ciągu kilkudziesięciu następnych lat powstaną roboty na tyle zręczne i samodzielne, że to wielkie dzieło będą mogły one kontynuować już bez udziału ludzi, jednak nie warto moim zdaniem czekać tak długo z ekspansją ludzkości w kosmos, skoro tu, na Ziemi, prędzej czy później doczekamy się naprawdę poważnej, ogólnoswiatowej katastrofy. Zapowiadają to przecież od setek lat wszyscy jasnowidze.

Sławomir Drażba

Warszawa, marzec 2025.

Wszystkie prawa zastrzeżone