



Czemu jajko pęka, czyli moment zderzenia

Jajko w locie oraz pozostając na ziemi jest w całości i nic nie wskazuje na naruszenie jej integralności w żadnym z tych stanów, zatem kluczowym elementem w projekcie jest zrozumienie co się dzieje w momencie zderzenia.

Kiedy dochodzi do kolizji dwie właściwości zderzających się ciał ulegają zmianie i/lub przeniesieniu: ich **energia** oraz **pęd**. W tym zdarzeniu uczestniczy jedna lub wiele **sił**. Postarajmy się połączyć wszystkie te właściwości zgodnie z prawami fizyki. To zagadnienie pierwszy opisał Newton i zmienił on postrzeganie całego świata przez naukowców opisując właśnie związek między siłą, a ruchem.

Najważniejsza obserwacja jest taka, że jeżeli ciało się porusza i nie działa na nie żadna siła, to będzie się ono poruszać ruchem jednostajnym do końca świata. Podobnie zachowuje się obiekt, który stoi, bez przyłożenia żadnej siły - stać będzie dalej. Inaczej mówiąc obiekty lubią pozostawać w tym samym stanie – nazywamy to bezwładnością. Wzorami opisane jest to w następująco:

$$\sum F = 0 \Leftrightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0$$

Druga zasada dynamiki Newtona dokładnie określa jakie przyspieszenie będzie miało ciało po przyłożeniu siły i jest wyrażona wzorem:

$$F = m \cdot a$$

Bezpośrednio z niego wynika, że masa odgrywa kluczową rolę jeżeli chcemy osiągnąć duże przyspieszenie. Mówiąc prosto, Isaac Newton stwierdził, że masa opiera się zmianom, a siły te zmiany powodują. Przyspieszenie to zmiana prędkości w czasie

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Łącząc ze sobą powyższe wzory uzyskujemy najistotniejszy wniosek, że siła to zmiana prędkości w czasie.

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Mamy już wyznaczone najważniejsze parametry, które są istotne w projektowaniu prototypów. Przekładając wzór na sytuację z życia codziennego: jeśli pociąg porusza się ze stałą prędkością i musi zwolnić to siła działająca na pasażerów będzie tym większa, im czas hamowania jest krótszy. I nie ma znaczenia czy hamujemy z prędkości 100 do 80 km/h, czy z prędkości 20 do 0. Drugim bardzo ważnym życiowym wnioskiem jest, że wyhamowanie (i przyśpieszenie) pociągu będzie trudniejsze niż roweru ze względu na znaczną różnicę masy.

Czemu zatem jajko przy upadku pęka? Bo siła w trakcie zderzenia z ziemią jest większa niż siła spójności skorupki. Mamy kilka możliwych rozwiązań:

- a) Zmniejszyć masę
- b) Zmniejszyć prędkość
- c) Wydłużyć czas zderzenia
- d) Zwiększyć siłę spójności jajka
- e) Przekierować siłę poza układ jajko-ziemia

Wydłużenie czasu zderzenia



Wprowadziliśmy równania na energię kinetyczną, która częściowo pomaga w opisanu ruchu. Przypomnijmy, że jest ona zależna od masy oraz prędkości:

$$E_{kinetyczna} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Opis ten nie uwzględnia jednak kierunku i zwrotu prędkości, które są kluczowe przy rozważaniu zderzeń. Informacja ta zawarta jest w wielkości fizycznej jaką jest pęd:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Pęd zależny jest od masy i prędkości i w odróżnieniu od samej prędkości niesie informację o tym jak trudno jest zmienić ruch. Najłatwiej to sobie wyobrazić na przykładzie piłki tenisowej i kontenerowca, które poruszają się z tą samą prędkością – 50 km/h. W przypadku piłki, bardzo łatwo jest zmienić jej ruch – zarówno prędkość, jak i jej kierunek. Z powodu dużej masy, taka zmiana w przypadku kontenerowca jest znacznie trudniejsza.

Z praw Newtona wynika, że to siły powodują zmiany w ruchu, więc w powyższych przykładach także siły muszą być powiązane ze zmianą pędu. I podobnie jak pokazane to było wcześniej – im większa siła tym większa zmiana pędu oraz im dłużej jest przyłożona siła, tym także większa zmiana pędu. Te dwie cechy składają się na definicję popędu siły (impulsu):

$$\vec{J} = \Delta t \cdot \vec{F}$$

Uzupełniając równanie o definicję siły, możemy powiązać popęd z prędkością:

$$\vec{J} = \Delta t \cdot \vec{a} \cdot m = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Ostatecznie w zagadnieniu z Jajkonautą (przedstawiony na zdjęciu) interesuje nas siła wywierana na skorupkę jajka, więc najbardziej przydatna będzie postać:

$$\vec{F} = \frac{\vec{J}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Z powyższego równania wprost wynika jakie są możliwości przy projektowaniu kapsuły dla Jajkonauty. Masa jest określona na samym początku i nie zmienia się podczas eksperymentu. Prędkość została omówiona wcześniej, jedynym parametrem do zmniejszenia siły działającej na jajko w momencie upadku jest czas samego zderzenia. Wydłużenie tego czasu może kilkukrotnie zmniejszyć siłę i na tej zasadzie działają poduszki powietrzne, pasy bezpieczeństwa i wiele podobnych systemów. Przeanalizujmy sytuację przemawiającą do wyobraźni, czyli zderzenie samochodu z budynkiem. Samochód poruszający się z prędkością około 100 km/h uderza w budynek, prędkość końcowa wynosi 0 km/h, a czas całkowitego zderzenia wynosi około 0,2 sekundy*. Średnia masa samochodu to 1,5 tony. Obliczając średnią siłę działającą na samochód otrzymujemy wartość około 200.000 N, czyli w przybliżeniu 20 ton spadających na samochód, co tłumaczy szkody powstałe w wyniku zderzenia.

Teraz zrobmy podobne wyliczenia dla kierowcy, który ma zapięte pasy, a samochód jest wyposażony w poduszki powietrzne. Pierwszą ważną informacją jest to, że kierowca nie jest przytwierdzony do samochodu, więc możemy traktować go niezależnie od samego pojazdu. Pasy też nie są sztywno przytwierdzone, ale napinają się powoli, przez co czas zdarzenia wydłuża się. Podobnie, kierowca nie uderza w kierownicę, ale w poduszkę powietrzną, która ugina się pod wpływem nacisku, co także wydłuża czas zderzenia. Ostatecznie czas całego zderzenia to około 2 sekundy. Czas na obliczenia:

$$\vec{F} = \frac{80kg \cdot \left(100 \frac{km}{h} - 0 \frac{km}{h}\right)}{2s} = 1111N$$

Wynik 1111 N to w przybliżeniu nacisk masy 113 kg, czyli dla kierowcy 140% jego masy. W przypadku samochodu było to 1370%, więc różnica jest kolosalna i tłumaczy dlaczego systemy bezpieczeństwa są tak ważne. Warto podkreślić, że zmiana pędu jest identyczna natomiast parametrem, który zmieniliśmy jest czas zderzenia.

Podobne systemy możemy wykorzystać projektując kapsułę bezpieczeństwa Jajkonauty. Wszystkie wypełniacze, folie bąbelkowe, elementy sprężyste wydłużą czas zderzenia i będą działały na korzyść naszego Jajkonauty. Podobnie, jak w przypadku kierowcy warto wziąć uwagę, żeby jajko nie było na sztywno przytwierdzone do konstrukcji oraz, że zależy nam na przetrwaniu jajka, a nie całego prototypu.

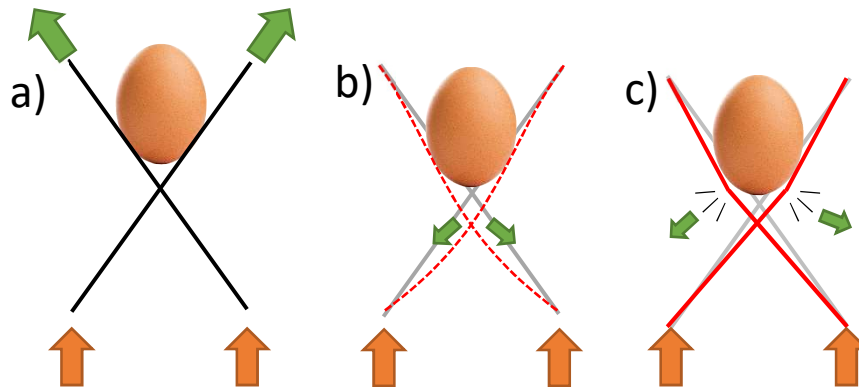


*Jak oszacować czas zderzenia? Przy niesprężystym zderzeniu można przyjąć, że jest to czas, który obiekt potrzebowałby na przebycie drogi równej swojej własnej długości.

Przekierowanie siły poza układ jajko-ziemia

Bardzo ważnym zagadnieniem poruszonym w przykładzie powyżej jest fakt, że kierowca nie jest na sztywno przyczepiony do pojazdu. Dzięki temu impakt zderzenia nie wpływał bezpośrednio na kierowcę i dokładnie ten mechanizm można wykorzystać konstruując kapsułę dla Jajkonauty.

Możemy rozważyć 3 przypadki przedstawione na rysunku poniżej:



W przykładzie a) konstrukcja jest zbudowana ze sztywnych i wytrzymałych prętów. W momencie zderzenia siła przekierowana jest wzdłuż prętów i nie przechodzi przez jajko. Samo jajko przejmuje część energii zderzenia, natomiast jest ona zredukowana. Dodatkowo, na powyższym przykładzie jajko ma 2 punkty styku, więc przypadająca siła będzie rozłożona na 2 punkty. Im ich więcej tym większa szansa na przeżycie.

Przykład b) to konstrukcja z elementów nieelastycznych, które pod wpływem zderzenia deformują się i działają na podobnej zasadzie co pasy bezpieczeństwa w samochodzie. Czas zderzenia jajka zostaje wydłużony, a to ma kluczowe znaczenie dla bezpiecznego lądowania. Dodatkowo pręty absorbują część energii na potrzeby deformacji

Przykład c) to pręty nieelastyczne, ale wykonane z kruchych materiałów. W momencie uderzenia pękają wyrzucając część energii poza nasz układ związany z jajkiem. Ile tej energii jest wyrzucane łatwo można zaobserwować wyginając surowy makaron spaghetti. Na tej podstawie działają kaski i strefa zgniotu w samochodzie, których zadaniem jest pęknięcie i deformacja, w zamian za ochronę pasażera.



Ze względu na możliwość wykorzystania elementów elastycznych, sztywnych, kruchych i trwałych liczba kombinacji przy budowie kapsuły dla Jajkonauty jest olbrzymia. Należy pamiętać o podstawowych zasadach:

- Siła zderzenia nie może być skierowana bezpośrednio przez jajko
- Jajko nie powinno być na sztywno przyczepione do konstrukcji
- Liczba punktów styków jajka z konstrukcją musi być jak największa
- Należy uważać, żeby w trakcie lotu prototyp się nie obrócił lub zapewnić kilka bezpiecznych pozycji kapsuły w różnych kierunkach



Jak zwiększyć siłę spójności jajka

Bardzo ważnym parametrem poza obniżeniem siły działającej na jajko w czasie zderzenia jest wytrzymałość skorupki. Jeżeli siła przekroczy wytrzymałość to oczywiście jajko pęknie. Na wstępie warto zaznaczyć, że w konkursie jajka dostępne będą bezpośrednio przed zawodami i należy je zwrócić w stanie nienaruszonym. Oznacza to, że żadne modyfikacje nie są dopuszczone.

Wzmocnienie samej skorupki jajka to wyzwanie przed jakim stoją hodowcy kur. Najważniejszą kwestią jest odpowiednia dieta z zawartością wapnia i fosforu, czyli podstawowy budulec skorupki. Do tego dochodzą kwestie dobierania ras kur, wiek ptaków, a także warunki w jakich żyją (choroby, upały, stres). Ponieważ nie są to zagadnienia fizyczne i nie dotyczą bezpośrednio konkursu to temat, mimo, że niezwykle istotny, zostanie pominięty.

Z możliwości inżynierskich korzystnie wpływać będą przede wszystkim powłoki: lakiery, woski, farby czy elastyczne etui. Niezwykle silną powłokę zaprezentowała firma Polinova z Hiszpanii, film prezentujący możliwości dostępny jest pod linkiem

<https://www.youtube.com/watch?v=AT9NIrpVDmo>