**K1. Opis ruchu w układzie biegunowym, ruch po okręgu jako specjalny przypadek ruchu krzywoliniowego.**

Ruch w układzie biegunowym opisujemy za pomocą odległości (r) od punktu początkowego i kąta (θ) od ustalonej osi, co jest przydatne do analizy ruchów obrotowych. Ruch po okręgu jest szczególnym przypadkiem ruchu krzywoliniowego, gdzie odległość (r) jest stała (promień okręgu), a zmienia się jedynie kąt (θ). Pozwala to na proste opisanie położenia ciała oraz jego prędkości kątowej i przyspieszeń (w tym dośrodkowego). Taki opis jest intuicyjny dla obiektów krążących lub poruszających się po spirali.

**K2. Podaj treść transformacji Galileusza.**

Transformacja Galileusza to zestaw równań pozwalających przeliczyć położenie i prędkość obiektu między dwoma układami odniesienia, które poruszają się względem siebie ze stałą prędkością. Jeśli jeden układ (U′) porusza się z prędkością V wzdłuż osi X względem drugiego (U), to współrzędna x w układzie U jest sumą współrzędnej x′ z układu U′ i drogi przebytej przez U′ (Vt). Współrzędne y i z pozostają niezmienione (y=y′,z=z′). Kluczowym założeniem jest to, że czas (t) płynie tak samo w obu układach (t=t′). Transformacje te są dokładne dla prędkości znacznie mniejszych od prędkości światła.

**D1. Zdefiniuj i wymień znane Ci siły pozorne. Z jakich oddziaływań fizycznych wynikają.**

Siły pozorne to efekty bezwładnościowe, które obserwujemy w układach odniesienia poruszających się z przyspieszeniem (układach nieinercjalnych). Nie wynikają one z oddziaływań fizycznych, lecz z przyspieszonego ruchu samego układu obserwatora. Główne siły pozorne to: siła bezwładności (odczuwalna przy liniowym przyspieszeniu/hamowaniu), siła odśrodkowa (w obracającym się układzie, "odpychająca" od osi obrotu) oraz siła Coriolisa (odchylająca ruch obiektów w obracającym się układzie).

**D2. Podaj definicje pracy, mocy i energii: kinetycznej i potencjalnej oraz treść zasady zachowania energii.**

**Praca** to miara przekazu energii, gdy siła powoduje przemieszczenie obiektu. **Moc** to szybkość wykonywania pracy, czyli energia przekazywana w jednostce czasu. **Energia kinetyczna** to energia ruchu, zależna od masy i prędkości obiektu. **Energia potencjalna** to energia zmagazynowana ze względu na położenie (np. w polu grawitacyjnym) lub stan (np. sprężyna). **Zasada zachowania energii** głosi, że w izolowanym układzie energia całkowita pozostaje stała – może jedynie zmieniać swoje formy, ale nie może zostać stworzona ani zniszczona.

**D3. Podaj wyprowadzenie wzoru na energię kinetyczną.**

Wyprowadzenie wzoru na energię kinetyczną zaczyna się od definicji pracy wykonanej przez siłę. Praca , gdzie (z drugiej zasady Newtona). Dla ruchu jednostajnie przyspieszonego ​. Podstawiając F i a do wzoru na pracę, otrzymujemy . Ponieważ wykonana praca równa jest zmianie energii kinetycznej (zakładając start z zerowej prędkości), otrzymujemy .

**D4. Ruch ciała o zmiennej masie – wyprowadź równanie Mieszczerskiego.**

Równanie Mieszczerskiego opisuje ruch ciała, którego masa się zmienia (np. rakieta). Wychodzimy z uogólnionej drugiej zasady dynamiki Newtona ​​, gdzie pęd . Stosując regułę iloczynu dla pochodnej pędu i uwzględniając pęd masy wyrzucanej/dołączanej () z prędkością względną ​ (różnica prędkości wyrzucanej masy i ciała), dochodzimy do ​. Ostatni człon to siła reakcji związana ze zmianą masy, czyli np. siła ciągu rakiety.

**R1. Opisz doświadczenie Michelsona–Morleya oraz wynik, jakiego się spodziewali.**

Doświadczenie Michelsona-Morleya miało wykryć eter, hipotetyczny ośrodek, w którym światło miało się rozchodzić. Interferometr porównywał prędkość światła wzdłuż i w poprzek ruchu Ziemi. Spodziewano się różnicy prędkości wynikającej z "wiatru eteru", co objawiłoby się przesunięciem prążków interferencyjnych. Jednakże, **nie zaobserwowano żadnego przesunięcia**, co wykazało stałość prędkości światła niezależnie od ruchu obserwatora i podważyło istnienie eteru.

**R2. Przestrzeń Minkowskiego — opisz i podaj przykłady, gdzie:**

Przestrzeń Minkowskiego to czterowymiarowa czasoprzestrzeń łącząca przestrzeń i czas. W niej interwał czasoprzestrzenny między zdarzeniami jest niezmienny dla wszystkic`h inercjalnych obserwatorów. Konsekwencją jest względność jednoczesności. a) Jeśli zdarzenia A i B są jednoczesne dla obserwatora nieruchomego, dla obserwatora poruszającego się (np. w pędzącym pociągu) zdarzenie bliższe kierunkowi ruchu (B) nastąpi wcześniej niż zdarzenie dalsze (A). b) Gdy zdarzenia A i B są jednoczesne dla obserwatora w ruchomym pociągu, dla obserwatora nieruchomego na peronie zdarzenie A (na przodzie pociągu) musi nastąpić wcześniej niż B (na tyle), aby światło z obu dotarło do poruszającego się obserwatora jednocześnie.

**R3. Relatywistyczne powiązanie energii i pędu. Czy cząstkę o masie spoczynkowej da się rozpędzić do prędkości światła? Odpowiedź uzasadnij.**

Relatywistyczne powiązanie energii (E) i pędu (p) wyraża wzór. Cząstki o masie spoczynkowej , takie jak fotony, **zawsze poruszają się z prędkością światła *c***. Nie da się ich "rozpędzić", ponieważ już od początku posiadają tę prędkość. Obiekty o masie spoczynkowej nie mogą osiągnąć prędkości światła, ponieważ wymagałoby to nieskończonej energii, co wynika ze wzoru na energię relatywistyczną, gdzie dąży do nieskończoności, gdy prędkość dąży do *c*.

**R4. Objaśnij wzór. Objaśnij, używając pojęcia masy spoczynkowej, w jaki sposób opisuje on energię kinetyczną ciała.**

Wzór oznacza równoważność masy i energii – masa jest formą energii, a energia może zmieniać się w masę i odwrotnie. E to całkowita energia, m to masa relatywistyczna, a c to prędkość światła. Dla ciała w ruchu, jego całkowita energia E jest sumą energii spoczynkowej () oraz energii kinetycznej (​). Zatem ​. Podstawiając (gdzie *γ* uwzględnia wpływ prędkości), otrzymujemy . Wzór opisuje więc energię kinetyczną jako dodatkową energię, którą ciało zyskuje ponad swoją masę spoczynkową dzięki ruchowi.

**R5. Objaśnij zasadę działania reakcji łańcuchowej. Co to jest defekt masy.**

Reakcja łańcuchowa to samopodtrzymujący się proces rozszczepienia jąder atomowych (np. uranu-235). Zaczyna się, gdy neutron uderza w jądro, powodując jego rozpad i uwolnienie kilku nowych neutronów. Te neutrony uderzają w kolejne jądra, kontynuując rozszczepienie i uwalniając lawinowo energię. **Defekt masy** to różnica między sumą mas nukleonów (protonów i neutronów) w swobodnym stanie a rzeczywistą masą jądra atomowego. Ta "brakująca" masa została przekształcona w energię wiązania jądrowego (zgodnie z ), która utrzymuje nukleony razem w jądrze.