KINEMATYKA PUNKTU MATERIALNEGO

1 Prędkość średnia

1.1 Rowerzysta przejechał połowę drogi ze stałą prędkością v_1, a drugą połowę ze stałą prędkością v_2. Obliczyć średnią prędkość rowerzysty na całej drodze.

1.2 Punkt materialny porusza się wzdłuż osi x zgodnie z równaniem $x = at - bt^2$, gdzie a, b są stałymi. Znaleźć prędkość w chwili $t = t_1$ oraz średnią prędkość od momentu startu $t = 0$ do $t = t_1$.

1.3 Cząstka porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem a, następnie ruchem jednostajnym, a na koniec spowalniając z opóźnieniem a. Zatrzymuje się po czasie $t = T$. Średnia prędkość w tym czasie wynosi v_s. Jak długo cząstka poruszała się jednostajnie, jeśli jej prędkość początkowa była równa zero?

1.4 Rowerzyści w czasie wycieczki rejestrowali swoją prędkość.

a) Rowerzysta A godzinę jechał z prędkością $v_1 = 25$ km/h podczas drugiej na skutek zmęczenia jechał z prędkością $v_2 = 15$ km/h.

b) Rowerzysta B pierwsze 20 km jechał z prędkością $v_1 = 25$ km/h a następne 20 km z prędkością $v_2 = 15$ km/h.

c) Rowerzysta C godzinę jechał z prędkością $v_1 = 25$ km/h a następne 20 km z prędkością $v_2 = 20$ km/h.

Oblicz prędkość rowerzystów.

1.5 Biegacz przebiegł połowę trasy z prędkością $v_1 = 18$ km/h, a drugą połowę z inną prędkością v_2. Gdyby biegł cały czas ze stałą prędkością $v = 12$ km/h, to czas potrzebny na przebycie całej trasy nie zmieniłby się. Oblicz wartość prędkości v_2.

1.6 Indianin *Sokole oko* przejechał na koniu odległość S dzielącą jego wigwam od źródła wody pitnej z prędkością $V = 10$ km/h. Z jaką prędkością powinien wrócić do obrazu, aby jego prędkość średnia była równa: *a*) $V/3$; *b*) $2V$?

2 Względność ruchu

2.1 Kajakarz płynie z prądem rzeki z przystani A do przystani B w czasie $t_1 = 3$ godziny, a z B do A w czasie $t_2 = 6$ godzin. Ile czasu potrzeba, aby kajakarz spłynął z prądem rzeki z A do B bez wiosłowania?

2.2 Prędkość własna łódki wynosi v_1, a prędkość nurtu rzeki o szerokości d i równoległych brzegach wynosi v_2. Jaki jest najkrótszy czas, w którym łódka (poruszająca się ruchem jednostajnym prostoliniowym) przepłynie w poprzek rzeki?

2.3 Samolot leci z miasta A do miasta B, położonego na wschód od A w odległości s. Prędkość samolotu w powietrzu wynosi v_1. Oblicz czas przelotu: t_1 – w bezwietrzną pogodę, t_2 – gdy na całej trasie wieje południowy wiatr o prędkości v_2.

2.4 Prędkość łódki względem wody wynosi v. Jak należy skierować łódź, aby przepłynąć rzekę w kierunku prostopadłym do brzegu? Woda w rzece płynie z prędkością u.

2.5 Rybak płynie w górę rzeki. Przepływając pod mostem gubi zapasowe wiosło, które wpada do wody. Po godzinie rybak spostrzega brak wiosła. Wraca z powrotem i dogania wiosło w odległości 6 km poniżej mostu. Jaka jest prędkość rzeki, jeśli rybak poruszając się zarówno w górę, jak i w dół rzeki wiosłuje jednakowo?

2.6 Po rzece płynie łódka ze stałą względem wody prędkością u , prostopadłą do kierunku prądu. Woda w rzece płynie wszędzie równolegle do brzegów, ale wartość jej prędkości V zależy od odległości y od brzegu i dana jest wzorem: $V = v_0 \sin(\pi/L)$, gdzie v_0 jest stałą, a L szerokością rzeki. Znaleźć wektor prędkości łódki względem brzegu.

2.7 Dwa samochody poruszają się po dwóch prostoliniowych i wzajemnie prostopadłych drogach w kierunku ich przecięcia ze stałymi szybkościami $v_1 = 50$ km/h i $v_2 = 100$ km/h. Przed rozpoczęciem ruchu pierwszy samochód znajdował się w odległości $s_1 = 100$ km od skrzyżowania dróg, a drugi w odległości $s_2 = 50$ km od ich przecięcia. Po jakim czasie od chwili rozpoczęcia ruchu odległość miedzy samochodami będzie najmniejsza?

2.8 Krople deszczu spadają na ziemię z chmury znajdującej się na wysokości 1700 m. Oblicz, jaką wartość prędkości (w km/h) miałyby te krople w chwili upadku na ziemię, gdyby ich ruch nie był spowalniany w wyniku oporu powietrza.

2.9 Dwóch pływaków A i B skacze jednocześnie do rzeki, w której woda płynie z prędkością v. Prędkość c ($c > v$) każdego pływaka względem wody jest taka sama. Pływak A przepływa z prądem odległość L i zawraca do punktu startu. Pływak B płynie prostopadle do brzegów rzeki (pomimo znoszącego go prądu) i oddala się na odległość L, po czym zawraca do punktu startu. Który z nich wróci pierwszy?

3 Ruch jednostajnie przyspieszony

3.1 Elektron przyspiesza jednostajnie w lampie katodowej od prędkości $3,0 \cdot 10^4$ m/s do prędkości $5,0 \cdot 10^6$ m/s na odcinku drogi o długości $2,0$ cm. Ile czasu trwa przyspieszony ruch elektronu?

3.2 Z helikoptera wznoszącego się z przyspieszeniem $a = 1$ m/s^2 na wysokości $H = 450$ m wypada lampa naftowa. Znaleźć szybkość końcową i czas spadku lampy na ziemię.

3.3 Prędkość ciała poruszającego się wzdłuż osi $0x$ dana jest równaniem $v = (100 - 32x)^{1/2}$ m/s. Jakim ruchem porusza się to ciało? Jaka jest prędkość początkowa oraz przyspieszenie ciała? Ciało rozpoczęło ruch z punktu $x = 0$.

3.4 Szyszka spadająca swobodnie z czubka sosny podczas ostatniej sekundy ruchu przebyła połowę wysokości drzewa. Jak długo i z jakiej wysokości spadała szyszka?

3.5 Policz po jakim czasie znajdzie się na wysokości H piłka rzucona pionowo do góry z prędkością początkową v_0. Przedyskutuj możliwe rozwiązania.

3.6 Wiewiórka spada z drzewa. Gdy przebyła ona drogę d z drzewa zaczyna spadać informatyk, który zdołał wspiąć się na odległość h od wierzchołka. Wiewiórka i informatyk spadają na ziemię w tej samej chwili. Policz wysokość drzewa.

3.7 Biegacz, biegnąc po prostej, przyspiesza jednostajnie od stanu spoczynku do prędkości $v_1 = 5$ m/s w czasie $t_1 = 2$ s. Następnie biegnie jednostajnie z prędkością v_1 przez czas $t_2 = 10$ s. Jakie jest przyspieszenie biegacza w pierwszej fazie biegu? Narysuj wykresy zależności przyspieszenia, prędkości oraz położenia biegacza od czasu w przedziale czasu $t \in (0, t_1 + t_2)$.

3.8 Wystrzelona pionowo do góry rakieta podczas trwającego 50 s działania jej silnika ma stałe skierowane do góry przyspieszenie równe $2g$. Po ustaniu pracy silnika porusza się z przyspieszeniem g skierowanym w dół.

a Wykonaj wykres $v(t)$ dla całego lotu rakiety.

b Oblicz maksymalną wysokość osiągnięta przez rakietę.

c Oblicz, po jakim czasie od wystrzelenia rakieta powróci na ziemię.

3.9 Cząstka rozpoczyna ruch przyspieszony z zerową prędkością początkową. Zależność przyspieszenia od czasu przedstawia wykres. Wyznaczyć: *a*) prędkość cząstki w chwilach $t_1 = 10$ s i $t_2 = 20$ s; *b*) średnia prędkość w czasie od t_1 do t_2; *c*) drogę przebytą po czasie t_2.

3.10 Oblicz prędkość jaką uzyskasz poruszając się przez 1 rok prostoliniowo z przyspieszeniem ziemskim $g = 9,81$ m/s^2.

3.11 Motocyklista rusza ze stałym przyspieszeniem $a = 0,5$ m/s^2. Po 0,6 minuty od chwili rozpoczęcia ruchu zatrzymuje go policjant. Czy motocyklista będzie płacił mandat z powodu przekroczenia dozwolonej prędkości 60 km/h?

3.12 Aby móc oderwać się od ziemi samolot musi osiągnąć prędkość $v = 100$ m/s. Znaleźć czas rozbiegu i przyspieszenia samolotu, jeżeli długość rozbiegu wynosi $d = 600$ m. Założyć, że ruch samolotu jest jednostajnie zmienny.

3.13 Samochód jadący z prędkością $v_0 = 36$ km/h w pewnej chwili zaczął hamować i zatrzymał się po upływie $t = 2$ s. Zakładając, że ruch samochodu był jednostajnie zmienny, wyznacz jego przyspieszenie a oraz jego drogę s, jaką przebył podczas hamowania.

3.14 W chwili, gdy zapala się zielone światło, samochód osobowy rusza z miejsca ze stałym przyspieszeniem a równym 2,2 m/s^2. W tej samej chwili wyprzedza go ciężarówka, jadąca ze stała prędkością 9,5 m/s *a*) W jakiej odległości od sygnalizatora samochód osobowy dogoni ciężarówkę? *b*) Ile wynosić będzie wówczas jego prędkość?

3.15 Wysokość szyby windy w hotelu Marquis Marriott w Nowym Jorku wynosi 190 m. Maksymalna prędkość kabiny jest równa 305 m/min. Przyspieszenie windy w obu kierunkach jazdy ma wartość 1,22 m/s^2. *a*) Na jakiej drodze ruszający z miejsca wagonik osiąga maksymalną prędkość jazdy? *b*) Jak długo trwa pełny, 190-metrowy przejazd wagonika bez zatrzymywania po drodze, licząc od chwili zatrzymania na dole do chwili zatrzymania na górze?

3.16 Kamień rzucono pionowo do góry. Mija on punkt A z prędkością v, a punkt B, leżący 3 m wyżej niż punkt A z prędkością $0,5v$. Oblicz: *a*) prędkość v; *b*) maksymalną wysokość wzniesienia się kamienia ponad punkt B.

3.17 Ciało spada swobodnie na ziemię z wysokości H. Na jakiej wysokości prędkość tego ciała będzie n razy mniejsza od jego prędkości końcowej? Obliczenia numeryczne wykonaj dla $H = 27$ m i $n = 3$.

3.18 Układający się do drzemki kot spostrzega doniczkę przelatującą za oknem, najpierw w górę potem w dół. Łączny czas, w jakim kot ma doniczkę w polu widzenia wynosi 0,5 s, a wysokość okna, przez które ją obserwuje jest równa 2 m. jak wysoko nad górną framugę okna wzniosła się doniczka?

4 Ruch ze zmiennym przyspieszeniem

4.1 Ciało o masie m spada w polu grawitacyjnym Ziemi. Działa na nie również siła oporu powietrza, która jest proporcjonalna do prędkości ciała, $\mathbf{R} = -b\mathbf{v}$, gdzie b jest dodatnią stałą charakteryzującą opór ośrodka. Napisać równanie ruchu ciała, znaleźć jego prędkość po czasie t od momentu rozpoczęcia ruchu i przebytą w tym czasie drogę, jeśli $v(t = 0) = 0$. Rozważyć granice $t \ll m/b$ i $t \to \infty$.

4.2 Ciało o masie m rzucono pionowo do góry z prędkością $v_0 = 0,5$ m/s. Zakładając, że siła oporu powietrza jest proporcjonalna do prędkości, obliczyć czas wznoszenia się ciała. Na jaką wysokość wzniesie się to ciało?

4.3 Rozwiązać zadania **4.1** i **4.2** z siłą oporu powietrza proporcjonalną do kwadratu prędkości, tzn. $\mathbf{R} = -bv\mathbf{v}$ $(R = bv^2)$.

Ruch dwuwymiarowy (na płaszczyźnie)

1 Ruch we współrzędnych kartezjańskich

1.1 Ruch punktu na płaszczyźnie xy zadany jest układem równań:

$$\begin{cases} x = at \\ y = bt^2 \end{cases}$$

gdzie a, b to zadane stałe dodatnie, a t to czas. Znaleźć tor punktu, jego prędkość i przyspieszenie.

1.2 Znaleźć prędkość i przyspieszenie w ruchu opisanym równaniami:

a) $x\,(t) = 0,5cos\,(2\pi t)$, $y\,(t) = 0,5sin\,(2\pi t)$,

b) $r\,(t) = bt$, $\varphi\,(t) = c/t$, gdzie b, c są stałymi, a t jest czasem.

1.3 Cząstka startuje z punktu, będącego początkiem układu współrzędnych, z prędkością początkową $\mathbf{v} = (3\hat{\imath})$ m/s i stałym przyspieszeniem $\mathbf{a} = (-1\hat{\imath} - 0,5\hat{\jmath})$ m/s^2. Wyznacz: *a*) prędkość, *b*) wektor położenia cząstki w chwili, gdy współrzędna x cząstki jest największa.

1.4 Prędkość cząstki poruszającej się w płaszczyźnie xy wynosi $\mathbf{v} = (v_x, v_y) = (D, B_x)$, gdzie x – odcięta wektora położenia $\mathbf{r} = (x, y)$, a B i D – stałe współczynniki. Wyznaczyć parametryczne równania toru oraz równanie toru cząstki, tj. zależności $y(x)$.

1.5 Prędkość $\mathbf{v}$ cząstki, poruszającej się w płaszczyźnie xy, jest dana (w jednostkach SI) wyrażeniem $\mathbf{v} = (6t - 4t^2)\hat{\imath} + 8\hat{\jmath}$, gdzie $t > 0$. *a*) Wyznaczyć przyspieszenie cząstki w chwili $t = 3$ s. *b*) Czy w jakiejś chwili przyspieszenie cząstki jest równe zeru? *c*) Czy w jakiejś chwili prędkość cząstki jest równa zeru? *d*) Czy w jakiejś chwili, a jeśli tak, to w której, prędkość cząstki ma wartość 10 m/s?

1.6 Położenie cząstki w funkcji czasu opisuje zależność $\mathbf{r} = bt\hat{\imath} + (c - dt^2)\hat{\jmath}$, gdzie $b = 2$ m/s, $c = 5$ m, $d = 1$ m/s^2. Wyrazić y jako funkcję x oraz naszkicować tor cząstki (tj. wykres $y(x)$). Wyznaczyć wektor prędkości. Dla jakiego t wektor jest prostopadły do wektora położenia?

2 Rzut w polu grawitacyjnym

2.1 Punkt materialny porusza się po okręgu ze stałą szybkością v. Pokaż, że wektor przyspieszenia tego punktu jest prostopadły do jego prędkości.

2.2 Znaleźć położenie, prędkość i tor kamienia rzuconego w polu grawitacyjnym Ziemi z prędkością początkową v_0 pod kątem θ_0 do poziomu, jeżeli jego początkowe położenie było zadane przez $x_0 = y_0 = 0$. Określić składową normalną i styczną przyspieszenia kamienia w dowolnym punkcie toru.

2.3 Znaleźć zasięg i maksymalną wysokość rzutu z zadania **2.2**. Jaka wartość kąta θ_0 daje maksymalny zasięg przy ustalonej prędkości v_0?

2.4 W którym momencie ruchu w przypadku rzutu ukośnego przyspieszenie normalne jest największe? A przyspieszenie styczne? (Wskazówka: zadanie najłatwiej jest rozwiązać graficznie, rozkładając przyspieszenie na składowe styczną i normalną w różnych punktach trajektorii).

2.5 W rzucie poziomym prędkość końcowa ciała jest $n = 3$ razy większa od prędkości początkowej. Prędkość początkowa ciała wynosi $v_0 = 9,8$ m/s. Obliczyć wysokość początkową rzutu. Przyspieszenie ziemskie $g = 9,8$ m/s^2.

2.6 Kula pistoletowa wystrzelona poziomo przebiła dwie pionowo ustawione kartki papieru, umieszczone w odległościach $l_1 = 20$ m i $l_2 = 30$ m od pistoletu. Różnica wysokości na jakich znajdują się otwory w kartkach wynosi $h = 5$ cm. Oblicz prędkość początkową kuli. Przyspieszenie ziemskie $g = 10$ m/s^2.

2.7 Lotnik, który leci na wysokości h w kierunku poziomym z prędkością v_x, puszcza ładunek, który ma upaść na ziemię w punkcie A. Pod jakim kątem lotnik powinien widzieć cel w chwili puszczania ładunku, aby ten spadł w punkcie A? Za kąt widzenia celu przyjmij kat pomiędzy kierunkiem poziomym a linią łączącą samolot z celem.

2.8 Karabin jest wycelowany w tarczę, odległą od niego o s m. Kula trafia w tarczę d m poniżej punktu, w który celowano. Wyznaczyć czas lotu kuli i jej prędkość początkową.

2.9 Na mistrzostwach świata w Tokio w 1991 r. Mike Powell skoczył w konkursie skoku w dal 8,95 m. Wyznaczyć jego prędkość początkową, jeśli kąt wybicia był równy 40°. Przyjąć $g = 9,85$ m/s^2.

2.10 Kamień rzucono ukośnie z powierzchni ziemi. Na wysokości 9,1 m jego prędkość jest równa $\mathbf{v} = 7,6\hat{\imath} + 6\hat{\jmath}$. Jaka jest maksymalna wysokość i zasięg rzutu? Jaka była prędkość początkowa i końcowa (tuż przed upadkiem) kamienia?

2.11 Wartość prędkości początkowej pewnego pocisku wyrzuconego ukośnie jest pięć razy większa od jego prędkości w punkcie maksymalnego wzniesienia. Pod jakim katem wystrzelono pocisk?

2.12 Samolot lecący z prędkością $v = 290$ km/h nurkuje pod katem 30° do powierzchni morza i wypuszcza pakunek z żywnością dla rozbitków znajdujących się w odległości 700 m liczonej po powierzchni morza od punktu leżącego bezpośrednio pod samolotem w momencie, gdy wypuszcza ładunek. Jak długo trwał lot pakunku? Na jakiej wysokości znajdował się samolot w momencie wyrzucania ładunku?

2.13 W meczy tenisowym Roger Federer serwując nadał piłce znajdującej się na wysokości 2,37 m prędkość poziomą 23,6 m/s stojąc w odległości 12 m od siatki. Czy piłka przejdzie nad siatką?

2.14 Euzebiusz Smolarek stojąc na skale w kształcie półkuli o promieniu R kopie poziomo piłkę z prędkością początkową v_0. Jaką wartość prędkości początkowej zapewnia, że piłka nie uderzy w skałę? W jakiej odległości od skały upadnie wtedy piłka? Wskazówka: W każdym punkcie (x, y) toru piłki warunek zadania jest spełniony, o ile $x^2 + y^2 > R^2$.

2.15 Sterowiec porusza się na wysokości $H = 2000$ m w kierunku poziomym z prędkością $u = 20$ m/s. Ze sterowca wyrzucono kulę metalową, nadając jej poziomą prędkość początkową $v = 5$ m/s (względem sterowca) w chwili, gdy przelatywał on nad wierzchołkiem masztu stacji radiowej stojącej na płaskim terenie. Jak daleko od masztu upadła kula? Jaki był czas ruchu kulik? Wyznaczyć wektor prędkości $\mathbf{v}_1$, wysokość h przyspieszenie całkowite $\mathbf{a}$ oraz składową styczną a_s przyspieszenia kuli po czasie $t = 3$ s od momentu jej wyrzucenia ze sterowca. Opory powietrza zaniedbać. Jak zależy promień krzywizny toru kulki od czasu? Przyjąć $g = 10$ m/s^2.

2.16 Jacek Krzynówek wykonujący rzut wolny z punktu leżącego na wprost bramki, w odległości 50 m od niej, nadaje piłce prędkość początkową o wartości 25 m/s. Wyznaczyć zakres kąta, pod jakim powinna zostać uderzona piłka, aby strzał trafił do bramki. Poprzeczka bramki znajduje się na wysokości 3,44 m nad boiskiem.

2.17 Strzelba jest wycelowana w cel wiszący na wysokości H. W tej samej chwili, gdy pada strzał, cel zaczyna swobodnie spadać. Pokazać, że kula trafi w cel. W jakiej odległości od strzelby należy umieścić cel, aby kula wen nie trafiła?

2.18 Zawodnik, stojący u podnóża wzniesienia o kącie nachylenia φ, rzucił ciało pod katem $\vartheta > \varphi$ nadając mu prędkość początkową v_0. Pokazać, że ciało przebędzie odległość $d = 2v_0^2 \cos\vartheta \sin(\vartheta - \varphi)/(g \cos^2 \varphi)$, mierzoną wzdłuż wzniesienia.

2.19 Z helikoptera appache wznoszącego się z przyspieszeniem a na wysokości H wystrzelono poziomo względem helikoptera rakietę z prędkością v_0. Znajdź, gdy rakieta jest jeszcze w powietrzu: *a*) jej prędkość po czasie t, *b*) położenie po czasie t, *c*) tor ruchu, *d*) czas ruchu, *e*) przyspieszenie, *f*) przyspieszenie styczne.

2.20 Metalowa kulka przymocowana do końca struny jest obracana, tak że porusza się horyzontalnie po okręgu o promieniu $r = 0,30$ m. Płaszczyzna, w której odbywa się ruch znajduje się na wysokości $h = 1,2$ m nad ziemią. Struna pęka i kulka spada na ziemię w odległości $l = 2$ m od punktu na ziemi znajdującego się dokładnie pod miejscem, w którym nastąpiło zerwanie kulki ze struny. Znaleźć przyspieszenie dośrodkowe kulki w jej ruchu po okręgu.

3 Ruch we współrzędnych biegunowych

3.1 Okrągła tarcza o promieniu R wiruje wokół swojej osi ze stałą prędkością kątową ω. Ze środka tarczy wyrusza biedronka i porusza się wzdłuż wybranego promienia ze stałą prędkością v_0. Znaleźć:

a) równania ruchu i toru biedronki w nieruchomym układzie odniesienia we współrzędnych kartezjańskich i biegunowych,

b) zależność od czasu wartości wektora prędkości $\mathbf{v}$,

c) zależność od czasu wartości wektora przyspieszenia $\mathbf{a}$, jak również jego składowych: normalnej a_n i stycznej a_t, oraz radialnej a_r i transwersalnej a_ϕ.

3.2 Ćma porusza się po krzywej, której długość s jest dana wzorem $s = s_0 \exp(ct)$, gdzie s_0 i c są stałe. Wiedząc, że wektor przyspieszenia $\mathbf{a}$ tworzy stały kąt ϕ ze styczną do tego toru w każdym punkcie, znaleźć wartość: *a*) prędkości, *b*) przyspieszenia stycznego, *c*) przyspieszenia normalnego.

3.3 W czterech rogach kwadratowego pokoju o powierzchni a^2 siedzą cztery pająki. W pewnej chwili zaczynają się ścigać, tzn. poruszają się ze stałą prędkością v_0 skierowaną wzdłuż prostej łączącej danego pająka z poprzedzającym go pająkiem. Znaleźć: *a*) równania określające ruch (położenie) dowolnego pająka, *b*) czas ruchu, *c*) równanie toru. Zadanie rozwiązać w układzie biegunowym.

3.4 Ruch punktu materialnego opisują równania:

$$r = r_0(1 - ct) \text{ oraz } \phi = ct/(1 - ct);\ \text{gdzie } r_0 = const,\ c = const.$$

Znaleźć: *a*) tor punktu, *b*) składowe: radialną i transwersalną prędkości oraz wartość prędkości punktu, *c*) składowe: radialną i transwersalną przyspieszenia oraz wartość przyspieszenia punktu.

3.5 Ruch punktu materialnego po spirali hiperbolicznej, $r = c/\phi$, $c = const$, dany jest następującym równaniem $\phi = \phi_0 + \omega t$, gdzie $\phi_0 = const$ i $\omega = const$. Znaleźć wartość prędkości punktu i wartość jego przyspieszenia.

3.6 Ciało porusza się ruchem płaskim, przy czym prędkość polowa $\dot{A} = ar/2$, natomiast prędkość radialna $v_r = b$, gdzie a, b - stałe dodatnie. Znaleźć równania ruchu oraz równanie toru we współrzędnych biegunowych. Przyjąć warunki początkowe $\phi(0) = 0$, $r(0) = r_0$.

3.7 Wiedząc, że dla pewnego ruchu płaskiego spełnione są zależności $v_r = c$ (prędkość radialna), $a_r = -b^2/r^3$ (przyspieszenie radialne), gdzie b i c są stałymi dodatnimi, znaleźć: *a*) równania ruchu, *b*) równanie toru, *c*) wartość prędkości polowej. Przyjąć, że w chwili początkowej $r(0) = r_0$, $\phi(0) = \phi_0$.