ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПОНЯТЬ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У РІЗНИХ ФІЗИЧНИХ СИТУАЦІЯХ

О.Т. Проказа, О.В. Коваленко
м. Луганськ, Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка
alexprok@inbox.ru

Актуальність зазначеної проблеми та порівняльний аналіз визначення поняття ваги тіла у 15 літературних першоджерелах викладені нами у попередніх публікаціях [1, 17–26], [2, 113–118]. Зокрема сформульоване несуперечливе визначення поняття ваги тіла [1, 24] та конкретизоване це визначення на конкретних прикладах [1], [2].

Метою цієї статті є наміри продемонструвати, як «працює» поняття ваги тіла у різних випадках прискореного руху. Зазначимо, що, як правило, досліджується прискорений рух тіла у вертикальному напрямку. Звертається увага на те, що у випадку руху тіла вниз з прискоренням $\vec{a} = \vec{g}$, тіло знаходиться у стані невагомості.

Узагальнимо: тіло знаходиться у стані невагомості незалежно від напрямків руху, якщо виконується обов'язкова умова невагомості, а саме: $\vec{a} = \vec{g}$! Це означає, що рух тіла може бути довільним тільки під дією сили тяжіння (рис. 1).

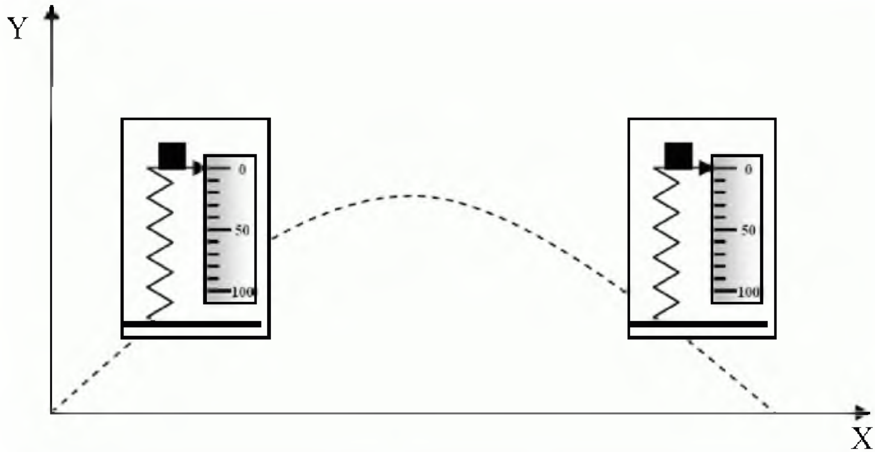

Рис. 1

У кожну момент часу $\vec{a} = \vec{g}$, а тому $\vec{P} = 0$ (Тіло доторкається до пружини, але не деформує її – невагомість!).

Тепер розглянемо інші випадки прискореного руху тіла під кутом зору ваги тіла.

Вага тіла, яке знаходиться на горизонтальній платформі, що обертається навколо вертикальної осі:

1) Якщо $0<\omega<\omega_{гр}$, тіло відносно платформи не рухається (рис. 2):

$$F_{ТЕР}^{СП} = m\omega^2 r$$

$$F_T = mg$$

$$F_1 = F_{ТЕР}^{СП} = m\omega^2 r$$

$$P_1 = N = F_T = mg$$

$$P = \sqrt{F_1^2 + P_1^2}$$

$$P = \sqrt{m^2\omega^4 r^2 + m^2 g^2} = m\sqrt{\omega^4 r^2 + g^2}$$

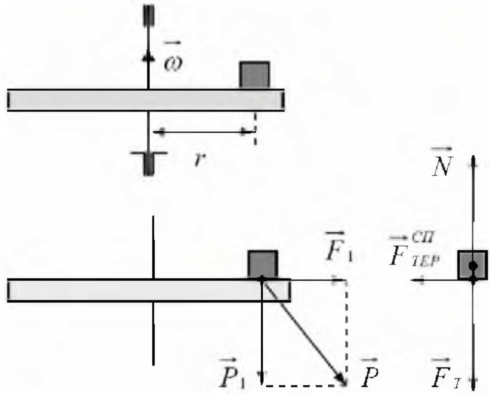

Рис. 2

2) При $\omega=0$: $P=mg$

3) При $\omega>\omega_{гр}$ має місце тертя ковзання, так як сила тертя $F_{ТЕР}=\mu mg$ не може надати тілу доцентрове прискорення $a_{доц}=\omega^2 r$, тобто $\mu mg<m\omega^2 r$. Тоді $P = \sqrt{(mg)^2 + (\mu mg)^2} = mg\sqrt{1+\mu^2}$.

Таким чином, якщо кутова швидкість платформи збільшується від нуля до граничного значення кутової швидкості, вага тіла зростає від $P=mg$ до $P = mg\sqrt{\omega_{гр}^4 r^2 + g^2}$. Якщо $\omega > \omega_{гр} = \sqrt{\dfrac{\mu \cdot g}{r}}$ (тіло рухається відносно платформи), вага тіла $P = mg\sqrt{1+\mu^2}$ і залишається незмінною (рис. 3).

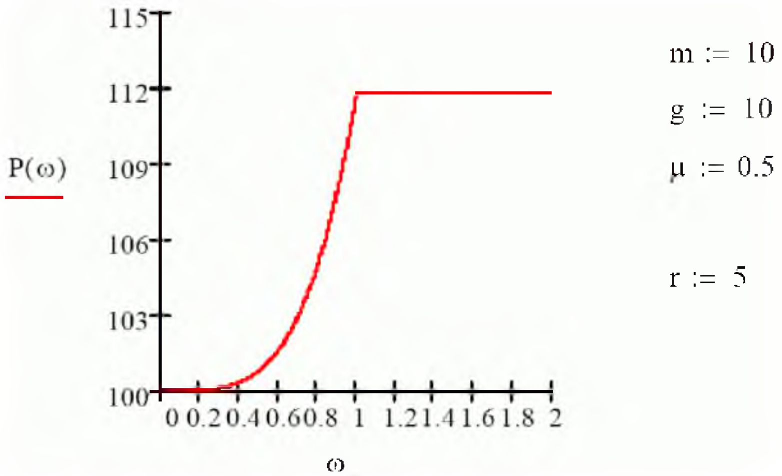

Рис. 3

Якщо на платформі закріпити крісло зі спинкою і посадити на крісло людину (рис. 4), то вага її буде збільшуватись в залежності від кутової швидкості, тобто: $P = mg\sqrt{\omega^4 r^2 + g^2}$ ($P>mg$ – перевантаження!).

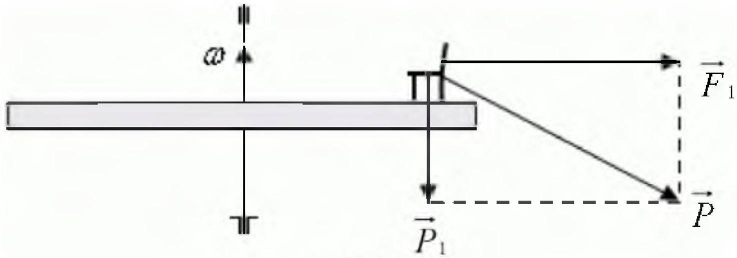

Рис. 4

Це і є тренувальний стенд для космонавтів, який називається центрифугою. Тільки тепер космонавт утримується на відстані r від осі доцентровою силою пружності з боку спинки крісла, а сила, з якою космонавт тисне на цю спинку є складовою силою його ваги.

Зауважимо, що у цьому випадку сила пружності F_1 може у декілька разів перевищувати силу пружності P_1, яка дорівнює силі тяжіння космонавта, тобто $P_1=N=mg$. Тоді вага космонавта $P>P_1$, і коефіцієнт перевантаження повністю залежить від кутової швидкості, яка і збільшується від початкових до кінцевих тренувань.

Вага тіла при коливальному русі

Результати дослідження фізичних ситуацій, коли тіло здійснює коливальні рухи представимо у вигляді запропонованих нами педагогічних семіотичних систем (рис. 5).

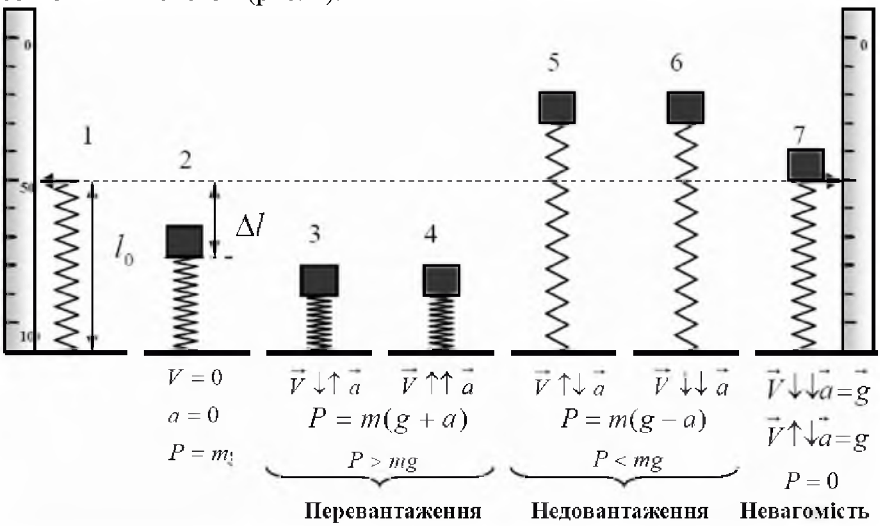

Рис. 5

1) l_0 – довжина недеформованої пружини;

2) Δl – статична деформація; тіло знаходиться у стані спокою:

$$F_T = N;\ N = P;\ P = mg.$$

3) Сповільнений рух тіла вниз: $P>mg$ – перевантаження.

4) Прискорений рух тіла вверх: $P>mg$ – перевантаження.

5) Сповільнений рух тіла вверх: $P<mg$ – недовантаження.

6) Прискорений рух тіла вниз: $P<mg$ – недовантаження.

7) $\Delta l=0$; $l=l_0$; $\vec{V}_{max}$ вниз ↓ або вверх ↑. У кожному із цих випадків $\vec{a} = \vec{g} \Rightarrow$ Миттєва невагомість, тобто у цей момент часу $P=0$!

Узагальнення – на рис. 6.

Тепер виконаємо дослідження коливального руху тіла на підвісі. Як змінюється вага цього тіла, якщо моделлю даної фізичної ситуації є математичний маятник? Тоді l=const (рис. 7).

Отже, при $\alpha=\alpha_{max}$: $P=mg\cos\alpha$, тобто вага тіла менша, ніж сила тяжіння (поворотні точки). Під час руху тіла із будь-якої поворотної точки до вертикального положення вага тіла зростає від $P=mg\cos\alpha_{max}$ ($P<mg$) до $P = m\left(g + \frac{V^2}{l}\right)$ ($P>mg$). Це означає, що у деякий момент часу при $\alpha=\alpha^*$ (рис. 8) вага тіла $P=mg$. Знайдемо α^*:

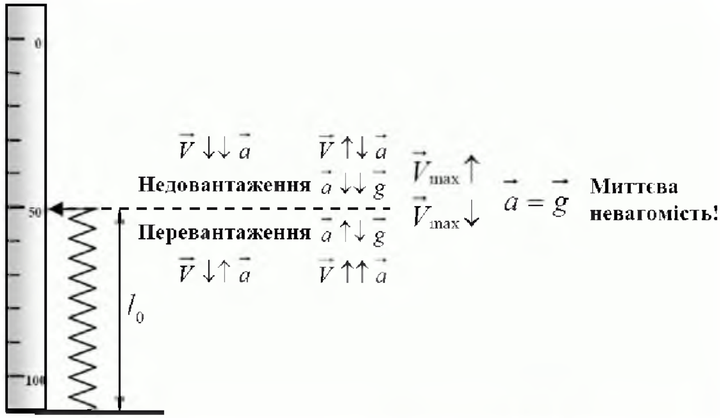

Рис. 6

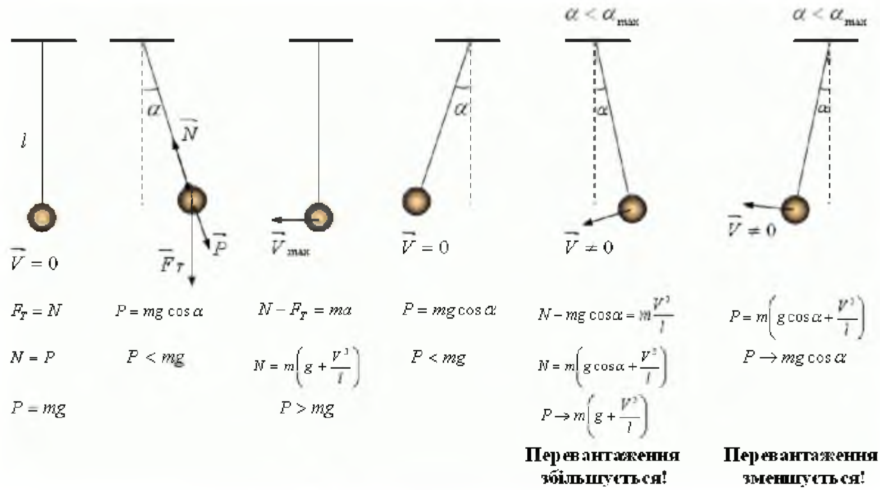

Рис. 7

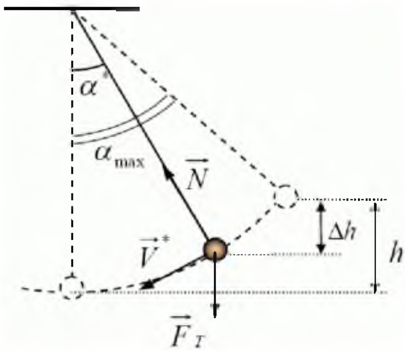

Рис. 8

$$N - mg\cos\alpha^* = m\frac{(V^*)^2}{l}$$

$$mg\Delta h = \frac{m(V^*)^2}{2} \Rightarrow (V^*)^2 = 2g\Delta h$$

$\Delta h=l(1-\cos\alpha^*)-l(1-\cos\alpha_{max})$

$|\Delta h|=l(\cos\alpha^*-\cos\alpha_{max})$

$(V^*)^2=2gl(\cos\alpha^*-\cos\alpha_{max})$

$P=mg(\cos\alpha^*+2(\cos\alpha^*-\cos\alpha_{max}))=mg(3\cos\alpha^*-2\cos\alpha_{max})$

Так як при $\alpha=\alpha^*$ вага тіла $P=mg$, тоді:

$mg=mg(3\cos\alpha^*-2\cos\alpha_{max})$

$$\cos\alpha^* = \frac{2}{3}\cos\alpha_{max}$$

$$\alpha^* = \arccos\left(\frac{2}{3}\cos\alpha_{max}\right).$$

Таким чином, якщо $\alpha^* \le \alpha \le \alpha_{max}$, вага тіла $P<mg$, але збільшується від $P=mg\cos\alpha_{max}$ до $P=mg$.

Якщо $0 \le \alpha \le \alpha^*$, вага тіла $P>mg$ і продовжує збільшуватись від $P=mg$ до $P = m\left(g + \frac{V^2}{l}\right)$, де $V^2=2gh$ ($h=l(1-\cos\alpha_{max})$).

Чи можлива миттєва невагомість тіла у випадку математичного маятника?

Так, стан миттєвої невагомості можливий, коли $\alpha_{max}=90°$ ($V=0$, тобто зупинка тіла при горизонтальному положенні підвісу). У цьому випадку дійсно $\vec{a} = \vec{g}$, а $\vec{P} = 0$!

Отже, якщо кут α змінюється від $-\frac{\pi}{2}$ до $+\frac{\pi}{2}$, вага тіла змінюється від нуля до $P_{max} = m\left(g + \frac{V^2}{l}\right)$ при $\alpha=0$, де $V^2=2gl$.

Тоді $P_{max} = m\left(g + \frac{2gl}{l}\right) = 3mg$, а потім знову зменшується до нуля. У цьому випадку α^* буде звичайно мати інше значення.

Знайдемо α^* для цієї фізичної ситуації (рис. 9).

$$N - mg\cos\alpha^* = m\frac{(V^*)^2}{l}$$

$$mg\Delta h = \frac{m(V^*)^2}{2} \Rightarrow (V^*)^2 = 2g\Delta h$$

$\Delta h = l\cos\alpha^*$

$$P = mg\cos\alpha^* + m\frac{2gl\cos\alpha^*}{l}$$

$P = mg(\cos\alpha^* + 2\cos\alpha^*) = 3mg\cos\alpha^*$.

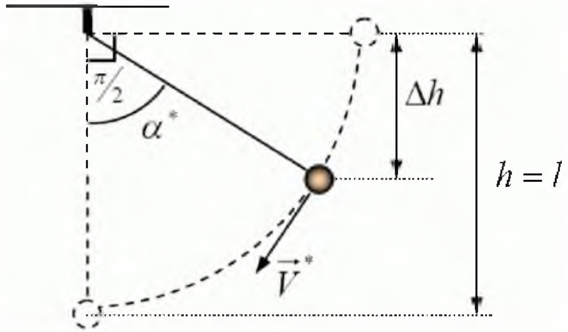

Рис. 9

Нагадаємо, що при $\alpha = \alpha^*$: $P = mg$. Тоді:

$mg = 3mg\cos\alpha^*$; $\qquad \cos\alpha^* = \frac{1}{3}$

$$\alpha^* = \arccos\frac{1}{3} \quad \Rightarrow \alpha^* \approx 70^0.$$

Залежність $P(\alpha)$ має наступний вигляд (рис. 10):

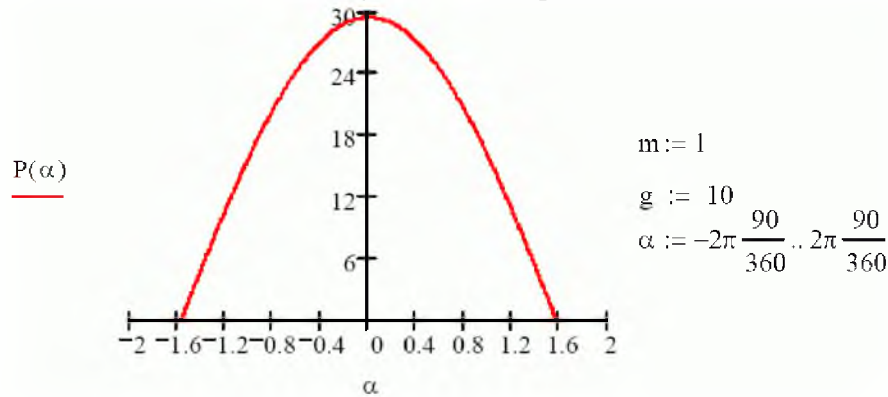

Рис. 10

Для різних мас математичного маятника маємо сімейство графіків (рис. 11):

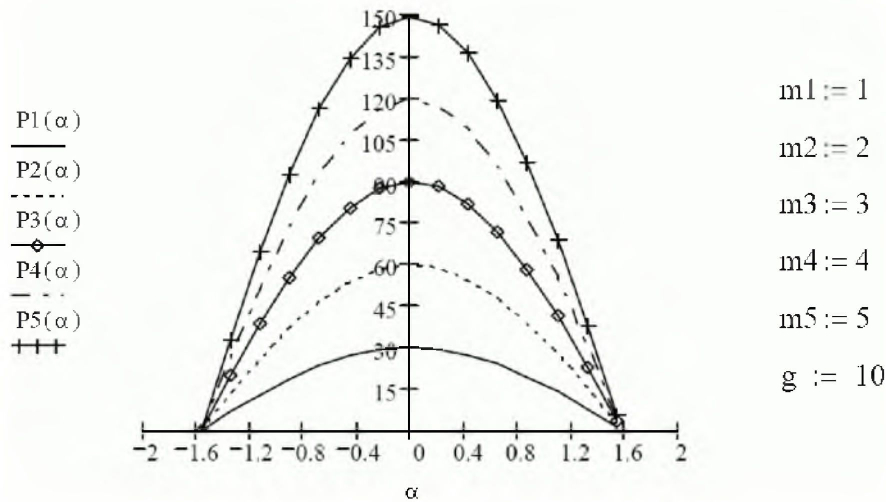

Рис. 11

Література

1. Коваленко О. В. Науково-методичний аналіз навчальних текстів та конкретизація визначень фізичних понять / Коваленко О. В. // Науковий пошук молодих дослідників : збірник наукових праць студентів. – 2009. – №4. – 185 с.

2. Проказа О. Т. Інформаційні технології навчання у фізичних дидактико-методичних системах / Проказа О. Т., Коваленко О. В. // Інформаційні технології в наукових дослідженнях і навчальному процесі : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (18–19 листоп. 2009 р.). – Луганськ, 2009. – 180 с.