

УДК 378.14:53 (043.2)

Лозовенко О.А.¹, Войтенко О.Д.²

¹ канд. пед. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. КНТ-811сп НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ВІЛЬНОГО ОБЕРТАННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ В СЕРЕДОВИЩІ SIMSCAPE MULTIBODY

Обертальний рух твердого тіла є однією з найскладніших тем модуля “Механіка” загального курсу фізики для технічних спеціальностей. Ця тема насичена новими для першокурсників поняттями, які не вивчаються у більшості шкільних курсів навіть на пропедевтичному рівні. Ситуація ускладнюється тим, що через зменшення аудиторних годин викладачі змушені скорочувати пояснення та доведення.

В таких умовах значно зростає роль фізичних демонстрацій, за допомогою яких можна пов'язати складний теоретичний матеріал із реальним рухом твердих тіл. Тим більше, що цей рух у багатьох випадках є доволі незвичним. Так, життєвого досвіду студентів явно недостатньо, щоб передбачити, чи буде певне тіло стабільно обертатися навколо обраної осі.

У межах загального курсу немає можливості довести той факт, що обертання вільного тіла з трьома різними головними моментами інерції є стійким лише відносно тих вільних осей, відносно яких момент інерції є найбільшим або найменшим [1, с. 106]. Тому ця інформація просто повідомляється студентам і зазвичай супроводжується показом знятими на борту Міжнародної космічної станції відео процесу обертання різних об'єктів [2].

Найбільш цікавою тут є демонстрація ефекту Джанібєкова [3], коли T-подібний об'єкт (або гайка-баранець), що спочатку був закручений навколо вільної осі, яка відповідає середньому значенню моменту інерції тіла, періодично перевертається, змінюючи свою орієнтацію майже на 180° . Для того, щоб у студентів не склалося враження, що подібний рух можна спостерігати лише у космічному просторі, корисно показати їм демонстрацію описану в [4], де обертається певним чином сконструйоване тіло сферичної форми.

Звичайно, більш або менш виражений ефект Джанібєкова має місце для твердих тіл будь-якої форми, якщо моменти інерції цього тіла відносно трьох головних осей є різними. Цей факт також було б корисно продемонструвати студентами, однак зробити це в лекційній аудиторії не так вже і просто. І поки триває робота над створення відповідного обладнання, можна скористатися можливостями комп'ютерних технологій.

Найбільш простим шляхом, на наш погляд, є використання пакету Simescape Multibody, що є частиною програми MATLAB. Цей пакет дозволяє моделювати рух найрізноманітніших тривимірних механічних систем використовуючи спеціально розроблені блоки. Ці блоки є моделями механічних пристроїв, положення яких у просторі та щодо один одного може змінюватися в різних системах координат відповідно до законів механіки [5, с. 532].

Побудова моделі твердого тіла, що вільно обертається навколо свого центра мас (див. рис. 1), не займає багато часу і навіть не вимагає наявності навичок програмування. Крім трьох обов'язкових для будь-якої механічної моделі блоків (1), достатньо використати блок *Body* (2), який задає тіло, що обертається, блок *Spherical Joint* (3), який дозволяє тілу вільно обертатися, і блок *Rigid Transform* (4), який надає можливість задати різне початкове положення тіла відносно лабораторної системи координат (5). Зверніть увагу, що початкова кутова швидкість задається з невеликим відхиленням від координатної осі, оскільки абсолютно точне співпадіння осі та вектора кутової швидкості в реальному світі є дуже малоімовірним.

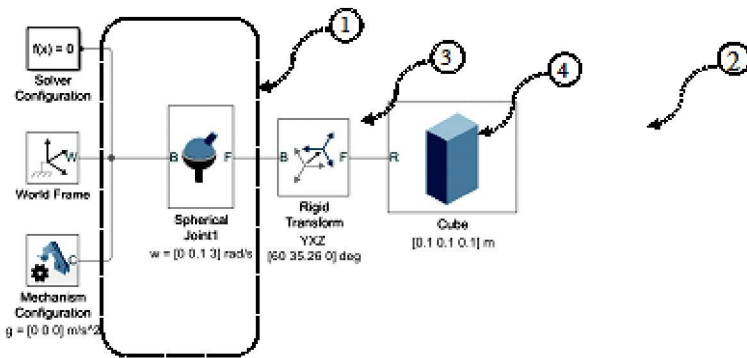


Рисунок 1 – Модель твердого тіла (куба), що вільно обертається навколо свого центра мас в Simscape Multibody.

Пакет SimMechanics підтримує засоби анімації для демонстрації роботи механізмів в динаміці, тож після запуску моделі ми не тільки можемо подивитися, як буде рухатися тіло, але й зберегли анімацію як відео-файл. Використовуючи описані можливості нами були створені такі анімації:

1) обертання куба навколо довільної осі (для ілюстрації того факту, що обертання куба є стійким навколо будь-якої осі, що проходить через його центр мас; відео доступне за посиланням <https://youtu.be/DVfIQsp91yE>);

2) обертання квадратної пластини навколо головної осі, що перпендикулярна площині пластини (для ілюстрації стабільності такого обертання, <https://youtu.be/dJlvoyTilhQ>);

3) обертання квадратної пластини навколо однієї з головних осей, що лежить в площині пластини (для ілюстрації нестабільності такого обертання, https://youtu.be/SGE_2wEfuCU);

4) стабільне обертання паралелепіпеда навколо головної осі, що відповідає максимальному моменту інерції (<https://youtu.be/xfJpyikYCTM>);

5) стабільне обертання паралелепіпеда навколо головної осі, що відповідає мінімальному моменту інерції (<https://youtu.be/fZnnwsYzYIY>);

6) ефект Джанібєкова при обертанні паралелепіпеда навколо головної осі, що відповідає середньому моменту інерції (<https://youtu.be/pOoQ0oEId8M>).

Наведені вище анімації можуть бути вільно використані при викладанні як загальної фізики, так і курсів теоретичної та класичної механіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук, І.М. Загальний курс фізики: у 3 т. / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. – К.: Техніка, 2006. – Т.1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П.Луцик. – 532 с.
2. <https://www.youtube.com/watch?v=fPI-rSwAQNg>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=1x5UiwEEvpQ>
4. Lozovenko, O. Dzhani­bekov Effect in a Physics Classroom / O. Lozovenko, Yu. Minaiev, R. Lutai // Physics Education. – 2022. – № 57.