

§ 32. РЕАКТИВНИЙ РУХ. РАКЕТИ

71 Завдяки чому можуть рухатися люди, автомобілі, потяги, тварини? Чому літають планери, птахи, метелики? Чому плавають риби, катери, підводні човни? Відповідь є простою: усі перелічені тіла рухаються тому, що від чогось відштовхуються: людина, тварина, автомобіль, потяг — від поверхні Землі; планери, птахи, метелики — від повітря; риби та катери — від води. А як у випадку з космічним літальним апаратом? Адже для того, щоб почати рух або змінити швидкість, він має від чогось відштовхнутись, а в космосі такої можливості немає. Проте космічні кораблі літають у відкритий космос, виконують маневри, повертаються на Землю. Від чого ж вони відштовхуються? З'ясуємо.

1 Який рух називають реактивним

Проведемо невеликий дослід. Надуємо повітряну кульку і, не стягаючи її отвір ниткою, відпустимо. Кулька почне рухатися і рухатиметься доти, поки з отвору виривається повітря. У цьому випадку ми маємо справу з так званим *реактивним рухом*.

Реактивний рух — це рух, що виникає внаслідок відділення з певною швидкістю від тіла якоїсь його частини.

Основою реактивного руху є закон збереження імпульсу. Повернемося до досліду з кулькою. Якщо отвір кульки закритий, вона перебуває в спокої й імпульс системи «кулька — повітря» дорівнює нулю: $\vec{p}_{0\text{н}} + \vec{p}_{0\text{к}} = 0$. Якщо отвір відкрити, то повітря почне вириватися

назовні з досить великою швидкістю, тобто набуде деякого імпульсу: $\vec{p}_n = m_n \vec{v}_n$. Сама кулька теж набуде імпульсу: $\vec{p}_k = m_k \vec{v}_k$, напрямленого в бік, протилежний імпульсу повітря.

Відповідно до закону збереження імпульсу загальний імпульс системи «кулька — повітря» залишається незмінним і дорівнює нулю: $m_n \vec{v}_n + m_k \vec{v}_k = 0$. Отже, швидкість руху кульки становить:

$$\vec{v}_k = -\frac{m_n}{m_k} \vec{v}_n.$$

Знак «-» говорить про те, що кулька рухається в напрямку, протилежному напрямку руху повітря.

Розглянемо ще один приклад — віддачу автомата, який робить n пострілів за секунду. Позначимо масу однієї кулі m_k , а її швидкість у момент вильоту із дула — \vec{v} . Загальна зміна імпульсу куль за секунду (швидкість зміни імпульсу) буде $n m_k \vec{v}$. Сила \vec{F} , яка діє на кулі, дорівнює швидкості зміни імпульсу куль:

$$\vec{F} = n m_k \vec{v}.$$

Згідно з третім законом Ньютона така сама за модулем сила, але напрямлена протилежно діє й на автомат. Отже, у результаті стрільби на автомат діє постійна сила, яка визначається скорострільністю автомата, масою та швидкістю куль.

Аналогічно виникає рушійна *реактивна сила* в ракеті, коли з її сопла витікає газ.

2

Реактивний рух ракети

Ракета — літальний апарат, який переміщується в просторі завдяки реактивній тязі, що виникає внаслідок відкидання ракетною частини власної маси.

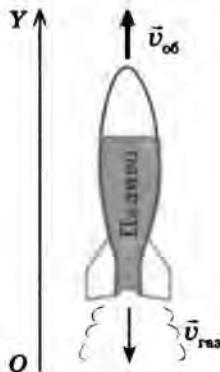


Рис. 32.1. Застосування закону збереження імпульсу до описання руху ракети ($\vec{v}_{об}$ — швидкість руху оболонки ракети; $\vec{v}_{газ}$ — швидкість руху газу)

Відокремлюваною частиною ракети (робочим тілом) є струмінь гарячого газу, який утворюється в ході згоряння палива. Коли газовий струмінь із величезною швидкістю викидається із сопла ракети, то оболонка ракети одержує потужний імпульс, напрямлений у бік, протилежний швидкості руху струменя.

Уявімо неймовірний варіант: у момент старту все паливо ракети згоряє відразу. Оскільки до старту ракета перебуває у спокої, то закон збереження імпульсу після згоряння палива виглядав би так: $0 = m_{газ} \vec{v}_{газ} + m_{об} \vec{v}_{об}$. Напрямимо вісь OY в бік руху ракети (рис. 32.1); спроектувавши векторне рівняння на цю вісь, маємо: $0 = -m_{газ} v_{газ} + m_{об} v_{об}$, звідки:

$$v_{об} = \frac{m_{газ}}{m_{об}} v_{газ}.$$

Якщо припустити, що маса палива в 4 рази більша, ніж маса оболонки ракети ($\frac{m_{\text{газ}}}{m_{\text{об}}} = 4$), а швидкість реактивного струменя

$v_{\text{газ}} = 2$ км/с (приблизно з такою швидкістю із сопла ракети виривається розпечений газ), одержимо швидкість руху оболонки ракети: $v_{\text{об}} = 4v_{\text{газ}} = 8$ км/с.

Отже, якби паливо ракети згоряло миттєво, то швидкість, набрана ракетою, була б достатньою для того, щоб вивести ракету на орбіту Землі (перша космічна швидкість поблизу поверхні Землі 7,9 км/с). Однак у реальності паливо згоряє поступово, і розрахунки показують, що в такому випадку для досягнення першої космічної швидкості маса палива має бути в 50 разів більшою за масу оболонки ракети. А якщо врахувати, що на рух ракети помітно впливають притягання Землі та опір повітря, то дістанемо результат, що маса палива має у 200 разів перевищувати масу оболонки, а це нереально реалізувати технічно.

Ще російський радянський учений *Костянтин Едуардович Ціолковський* (1857–1935) довів, що одноступенева ракета не зможе покинути Землю, і запропонував ідею створення «ракетних потягів», які стали прототипом багаступневих ракет. У таких ракетах ступені зі спорожнілими паливними резервуарами відкидаються в польоті та згоряють в атмосфері через тертя об повітря. При цьому маса ракети зменшується і, відповідно, збільшується швидкість її руху.

На рис. 32.2 подано триступеневу ракету-носієй «Восток». Вона складається з чотирьох бічних блоків (I ступінь), розташованих навколо центрального блока (II ступінь). Космічний апарат установлюється на III ступені, під головним обтічником, що захищає його від аеродинамічних навантажень під час польоту в щільних шарах атмосфери. Кожний блок оснащений власними двигунами.

12 квітня 1961 р. ракета-носієй «Восток» доставила на орбіту космічний корабель «Восток», на борту якого був перший в світі космонавт *Ю. О. Гагарін* (рис. 32.3).

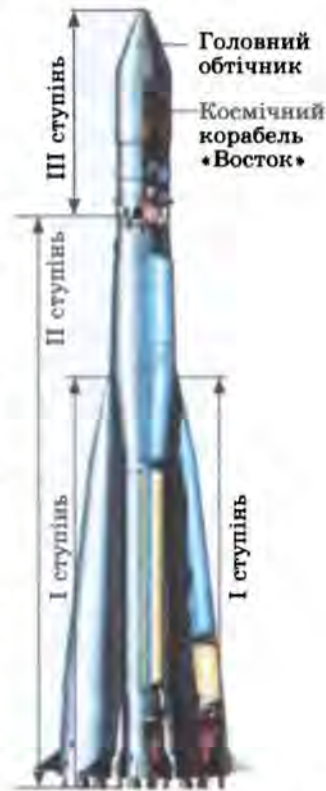


Рис. 32.2. Триступенева ракета-носієй «Восток»



Рис. 32.3. Юрій Олексійович Гагарін (1934–1968) — радянський льотчик-космонавт, перша людина в світі, яка здійснила політ у космос (12 квітня 1961 р.)

На космічних кораблях «Восток» було здійснено перші польоти людини в космос:

Космонавти	Дата польоту, тривалість	
Юрій Гагарін	12 квітня 1961 р.;	1 год 48 хв
Герман Титов	6–7 серпня 1961 р.;	25 год 18 хв
Андріян Ніколаєв	11–15 серпня 1962 р.;	94 год 22 хв
Павло Попович	12–15 серпня 1962 р.;	70 год 57 хв
Валерій Биковський	14–19 червня 1963 р.;	119 год 6 хв
Валентина Терешкова	16–19 червня 1963 р.;	70 год 50 хв



Контрольні запитання

1. Дайте визначення реактивного руху. 2. Опишіть досліди зі спостереження реактивного руху. 3. Запишіть закон збереження імпульсу для руху ракети, припустивши, що все її паливо згоряє миттєво у момент старту. Чому в цьому випадку розрахунок швидкості руху ракети дає набагато більший результат, ніж виявляється під час руху реальної ракети? 4. Чому для запускання космічних кораблів з поверхні Землі використовують багатоступеневі ракети? 5. Назвіть космонавтів, які літали на космічних кораблях «Восток».



О. М. Гузь

ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України (Київ)

Інститут, створений у 1918 р., зараз є найпотужнішим в Україні в галузі механіки та всесвітньо відомим дослідницьким центром. У 1993 р. йому присвоєно ім'я першого директора *Степана Прокоповича Тимошенка*.

Основні напрямки наукової діяльності Інституту: механіка композитних і неоднорідних середовищ, оболонкових систем, зв'язаних полів у матеріалах і елементах конструкцій; механіка руйнування та втома; динаміка та стійкість механічних систем.

Теоретичні та експериментальні результати науковців Інституту застосовуються в ракетно-космічній, авіаційній, судобудівній та інших галузях промисловості, використовуються в інженерній практиці провідних науково-дослідницьких і проектно-конструкторських організацій і підприємств України та інших країн.

В Інституті сформувались визнані в світі школи з механіки, зокрема школа нелінійних коливань Крилова — Боголюбова — Митропольського, школа Гузя.

З 1976 р. Інститут очолює академік НАНУ *Олександр Миколайович Гузь* (див. фото) — член багатьох Академій наук, лауреат Державних премій України (1979, 1983) і СРСР (1985), премій НАНУ; нагороджений медаллю Паскаля Європейської Академії Наук (2007).