

### Импулс на сила – една като че ли излишна величина<sup>1</sup>

Величината импулс на сила понякога влиза в учебните програми по физика и астрономия, понякога остава извън тях, но общо взето отношението към нея е като към нещо, което лесно може да бъде жертвано в името на вечната цел – облекчаване на учебното съдържание. Няма съмнение – погледнато най-общо, няма механично явление, което да не може да се обясни, без да се използва величината импулс на сила. Съществуват обаче важни ситуации, изясняването на физичната страна на които с нейна помощ е особено прозрачно.

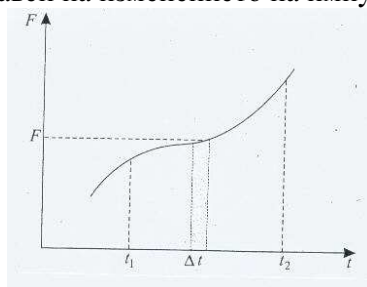
Известно е, че за тяло с импулс  $p$ , на което действа сила  $F$ , вторият закон на динамиката може да се запише във вида  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ . (Разглеждаме праволинейно

движение, при което векторите  $\vec{F}$  и  $\vec{p}$  са колинеарни, така че в равенствата, които пишем, участват проекциите им върху оста, по която се извършва движението.)

Величината **импулс на силата**  $\vec{F}$  за интервала време  $\Delta t$  се дефинира чрез произведението  $\vec{F}\Delta t$ , така че в нашия едномерен случай вторият закон може да се запише във вида:

$$(1) \quad (F\Delta t) = \Delta p,$$

т.е. импулсът на силата е равен на изменението на импулса на тялото.



Фиг. 1.

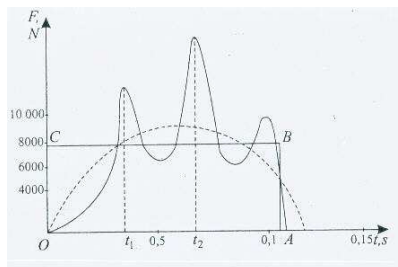
Ако направим графика на зависимостта на силата от времето (фиг. 1), ясно е, че импулсът на силата за време  $\Delta t$  ще бъде равен на площта на заштрихованата тясна правоъгълна ивица с основа  $\Delta t$  и височина  $F$ . При това положение импулсът на една променлива с времето сила за някакъв краен интервал време ( $t_1, t_2$ ) ще бъде равен на площта, заградена от графиката на силата и абсцисната ос между тези два момента. (Напълно аналогично на равенството между пътя, изминат с променлива скорост и площта под графиката на самата скорост.)

Нека под действие на една сила тяло с импулс  $p$  спре движението си. В този случай промяната на импулса е  $\Delta p = 0 - p = -p$  и от (1) получаваме, че в този случай общият импулс на силата е равен на импулса на тялото, но с обратен знак. (Това означава просто, че за да може силата да спира тялото, т.е. да намалява скоростта му, трябва да действа в посока, противоположна на посоката на скоростта.) И тъй като в конкретната ситуация импулсът на тялото е нещо зададено ( $p = mv$ ), изводът е, че **площта на фигурата под графиката на силата за времето на спиране не зависи от начина, по който големината на силата се променя с времето.**

Направеното заключение е особено важно в случаите, когато детайлното проследяване на промените на силата с времето е невъзможно. Такъв е случаят при автомобилните катастрофи. Нека например шофьор с маса  $m = 70 \text{ kg}$  шофира кола със скорост  $v = 15 \text{ m/s}$  (54 km/h). Импулсът на тялото на шофьора е  $p = 70 \cdot 15 = 1050 \text{ kg.m}$ .

<sup>1</sup> Физика, 2005, 1, с. 34–35.

Да предположим, че при катастрофа тялото на шофьора спира, след като измине път  $s = 1$  m. Ако движението при това спиране е равнозакъснително, съгласно с известната от кинематиката формула ускорението би било  $a = \frac{v^2}{2s} = 112,5 \text{ m/s}^2$  – над 11 пъти земното ускорение. Това е една потенциално смъртоносна стойност, тъй като действащата върху тялото сила има големина  $F = ma = 7875 \text{ N}$ . Времето на спиране в този случай е  $t = \frac{2s}{v} = 133 \text{ ms}$ .



Фиг. 2.

На фиг. 2 са показани три графика. Хоризонталната отсечка  $CB$  е графика на силата, която действа върху шофьора, когато спирането е равнозакъснително. С плътна линия е показано как се изменя с времето силата, действаща на шофьора в случая, когато не се използва предпазен колан, а с пунктир – когато коланът се използва. Тъй като общият импулс на силата при спирането в трите случая е един и същ (равен на импулса на тялото!), съгласно с казаното по-горе площта, заградена от трите криви и абсцисата, е една и съща – площта на правоъгълника  $OABC$ . Вижда се, че когато не се използва предпазен колан, силата има няколко максимума, които рязко увеличават вероятността от нараняване. Видът на плътната крива показва, че в началото действащата на шофьора сила е относително малка, следователно тялото му продължава движението си с почти непроменена скорост. Така стигаме до момента  $t_1$ , в който тялото стига кормилния кръг – в този момент силата има рязко изразен максимум, след което отслабва (вследствие счупване на кормилото или пробождане на тялото). Опасността в случая идва не само от максималната стойност на силата, но и от факта, че тя е приложена не върху цялото тяло, а само върху негова малка част – примерно гръдния кош (наличието на въздушни възглавници в модерните автомобили минимизира влиянието на този фактор). Вторият максимум настъпва в момента  $t_2$ , в който главата на шофьора удря предното стъкло на автомобила.

Видът на пунктираната крива показва, че използването на предпазните колани и на въздушните възглавници елиминира резките максимума на силата и осигурява максимално плавно спиране.

Вижда се, че печалбата от използването на величината импулс на сила в случая е същата, каквато е при използване на всяка друга запазваща се величина (енергия, импулс на тяло, електричен заряд и т.н.) в случаите, когато детайлното проследяване хода на процесите е невъзможно. Тук използването на тази величина ни позволи да заключим, че площта под графиката на силата във всички случаи е една и съща.