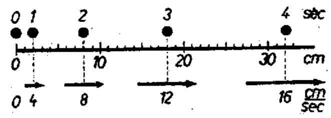
Mindnyájan tudjuk, hogy mit mond Newton II. és III. törvénye, a mozgástan e két alapvető axiómája. E törvények igazságát a tapasztalat mutatja. Közlekedési eszközök gyorsulása, lefékezése, lövedékek elindulása, talajba fúródása, égitestek pályáinak kialakulása, megváltozása megfigyeléseink szerint mindig igazolta a $P = ma$, vagyis erő=tömeg · gyorsulás törvényét. Úgyszintén eddig még soha és sehol sem fordult elő, hogy minden erőhöz ne találtuk volna meg a természetben a vele egyenlő nagyságú, ellentétes irányú ellenerőt:

A fizika története többször mutat arra példát, hogy a tudomány haladását a törvény felfedezésén kívül a szerencsés megfogalmazás is elősegítheti. Így történt ez Newton mozgástörvényeivel is. Példánk megmutatja, hogyan.

Egyenes pályán 80 din állandó nagyságú erő gyorsít 20 grammos tömeget. A gyorsulás $80 : 20 = 4$ cm/sec^2, a mozgás egyenletesen gyorsuló. Kiszámítjuk, hogy az egyes pillanatokban mennyi az út és a sebesség *(1. ábra).*



1. ábra

Vizsgáljuk meg a sebesség függését az úttól, az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényei alapján:

út	s: 0	4	8	12	16 ...	cm
sebesség	v: 0	5,64	8,00	9,80	11,28 ...	cm/sec

Vizsgáljuk meg azt is, hogy miképpen függ a sebesség az időtől:

út	s: 0	1	2	3	4 ...	sec
sebesség	v: 0	4	8	12	16 ...	cm/sec

Ez az összefüggés sokkal egyszerűbb: az ismert $v = at$ törvény alapján közönséges egyenes arányosság. Állandó hajtóerő esetében könnyebb arra válaszolni, hogy bizonyos idő múlva mennyi a sebesség, mint arra, hogy bizonyos út megtétele után mennyi a sebesség.

Ebbe a számításba belevonták a mozgó test tömegét is. Szorozzunk a sebesség törvényében mindkét oldaton m-mel:

$$mv = mat.$$

A jobb oldalon ma szorzat az erőt jelenti, tehát

$$mv = Pt.$$

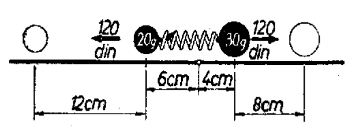
Eredményünk szerint, ha P erőt szorozzuk működésének t idejével, megkapjuk a tömegnek és a megszerzett sebességnek a szorzatát. A mi példánkban 4 másodpercig tartó gyorsítás után az erő és időtartam szorzata $4 \cdot 80 = 320$, a tömeg és megszerzett sebesség szorzata $20 \cdot 16 = 320$, tehát ugyanennyi.

A tömeg és sebesség szorzatát impulzusnak, mozgásmennyiségnek nevezzük. Jele M, mértékegysége kialakítható a tömeg és sebesség bármilyen mértékegységéből. Példáinkban $g \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ egységgel számoltunk. Amint számításunk alapján láttuk, Newton II. axiómája ebben az alakban fejezhető ki:

$$\text{megszerzett impulzus} = \text{erő} \cdot \text{működésének ideje}.$$

Tehát ha az erőt megszorozzuk működésének idejével, megtudjuk, mennyivel gyarapodott az impulzus. Változó nagyságú erő esetében is így járunk el: a mozgás minden kicsi részletében összeszorozzuk az erő mindenkori nagyságát működésének idejével, ezeket az értékeket összeadjuk és megtudjuk, a mozgó tömeg mennyi impulzust gyűjtött össze.

Még több hasznunk van az impulzus fogalmából Newton III. axiómájának alkalmazása közben. Következő példánkban szerepeljen két golyó, egy 20 grammos és egy 30 grammos. 10 cm távolságban vannak egymástól, egy köztük levő rugó mindegyikre 120 din erővel hat, tehát szétdobja a golyókat *(2. ábra).*



2. ábra

Legyen továbbá a rugó összenyomatlan állapotban olyan hosszú, hogy az általa kifejtett erő a későbbiekben szereplő 20 cm-es megnyúlás alatt még állandónak tekinthető. Az akció – reakció törvénye érvényesül, a 120 din nagyságú erők egyenlő nagyok, de ellentétes irányban működnek. A golyók gyorsuló mozgással indulnak el, a baloldali $120 : 20 = 6$ cm/sec^2, a jobboldali $120 : 30 = 4$ cm/sec^2 gyorsulással. Ha példának okáért 2 másodpercig mozognak, a golyók vízszintes irányban megtett útja. $\frac{6}{2} \cdot 2^2 = 12$ cm és $\frac{4}{2} \cdot 2^2 = 8$ cm, megszerzett sebességeik $6 \cdot 2 = 12$ cm/sec és $4 \cdot 2 = 8$ cm/sec. Vizsgáljuk meg az impulzusokat. Indulás előtt egyik golyónak sem volt sebessége, mindegyikük impulzusa 0 volt és az egész berendezés, az egész rendszer impulzusa is 0 volt. 2 másodpercnyi repülés után a jobboldali golyó impulzusa $30 \cdot 8 = 240\ g \cdot \mathrm{cm/sec}$, a baloldali golyóé $20 \cdot 12 = 240\ g \cdot \mathrm{cm/sec}$. De ne feledkezzünk meg az irányokról! Ha a jobb oldali golyó impulzusát pozitív előjellel vesszük számításba, akkor a bal oldali golyó impulzusát negatívnak kell vennünk, mert az mv szorzatban szereplő sebesség ennél a golyónál ellentétes irányú. A repülő golyók impulzusát algebrailag összegezve $240 - 240 = 0$, úgy, mint induláskor. Newton III. alaptörvénye az impulzussal elmondva így szól: valamely magára hagyott, zárt rendszer impulzusa állandó, konstans marad.

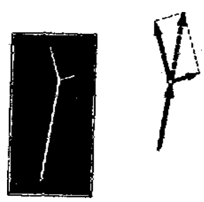
Newton III. axiomája azt fejezi ki, hogy az erők páronként keletkeznek, mindig két–két test kölcsönhatásaként. Anyagi (pont-) rendszernek nevezzük általában tetszőleges testek halmazát. Belső erőknek nevezzük a rendszerre nézve azokat az erőket, amelyek a rendszerhez tartozó testek között lépnek fel. Külső erő az az erő, amely a rendszerhez nem tartozó test és a rendszer tagja, vagy tagjai között lép fel. Zártnak azt a rendszert nevezzük, amelyben csak belső erők hatnak (vagyis amelybe az összes erőhatást létrehozó testeket beleszámítjuk).

(Szerk.)

Talán még világosabb ugyanennek a természeti törvénynek a következő alakja. Keressük meg golyóink közös súlypontját (2. ábra). Ez a bal oldali golyótól 6 cm-re van. 2 másodperces mozgás után a golyók egymástól mért távolsága $12 + 10 + 8 = 30$ cm. Keressük meg ismét a közös súlypontot! A baloldali golyótól 18 cm-re, a jobb oldalitól 12 cm-re találjuk meg. Ez pontosan az a hely, ahol a mozgás megkezdése előtt feküdt a súlypont. Tehát egy magára hagyott, zárt rendszer tömegeinek közös súlypontját a rendszer belső erői (nálunk a rugó) nem tudják megváltoztatni. Ha a közös súlypont a kísérlet előtt nyugalomban volt, akkor mindvégig nyugalomban marad. Ha a súlypont külső erők hatása alatt mozog, akkor ezt a mozgást a rendszer belső erői nem változtathatják meg. Pl. Kilőtt gránát a ferde hajítás pályáján repül. Felrobbanásakor igen sok szilánkra esik szét, ezek mindegyike külön–külön pályán mozog, de a szilánkok egyesített súlypontja úgy repül tovább a parabola pályán, mintha nem is történt volna robbanás. Ilyen könnyen igazodunk el ebben a bonyolult problémában az impulzus–fogalom segítségével. Gondoljuk csak el, mennyivel nehezebben juthatnánk el erre az eredményre az erőfogalom, a $P = ma$ törvény alapján, ha minden egyes szilánk útját a rá ható erő nagyságából kellene kiszámítani. Az impulzustörvény alapján számítják ki a rakéták mozgástörvényeit is.

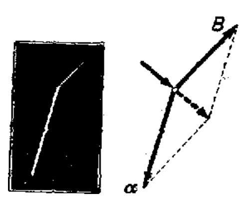
Természetesen az elmondottak igazsága nemcsak ezen egyetlen számpélda esetében érvényesül, hanem általánosan.

A szétrobbanó gránát példája figyelmeztet arra, hogy az impulzus vektormennyiség. Ez természetes, hiszen az mv szorzatban v sebesség vektor és ezen a skaláris természetű m tömeggel történő szorzás semmit sem változtat. Különböző térbeli irányok esetében is igaz marad ez a törvény, az impulzus állandósága. Erre atomfizikai kísérletekben, a Wilson–féle ködkamrában látunk szép példákat. Ebben a készülékben egyes elemi részecskék útja a képződött ködfonalak nyomán megvizsgálható *(3. ábra)*.



3. ábra

Egy α–rész (hélium atommag) ütközött oxigén atommagjába és kissé félrelökte, közben maga is irányt változtatott. Az ütközés utáni impulzusokat a paralelogramma-tétellel összeadva tapasztaljuk, hogy az eredő impulzus ugyanannyi, mint az a–rész eredeti impulzusa. Olyan részek is léteznek, amelyek útja nem figyelhető meg a ködkamrában (neutron, neutrínó). Ezeknek az impulzusa visszaszámítható az általuk meglökött részecskék impulzusaiból.



4. ábra

4. ábránk olyan kísérletet mutat, melynél baloldalról, felülről repült be a Wilson-kamrába egy neutron, azután nitrogén atommagba ütközött. A nitrogén atommagból α–rész lökődött ki (lefelé), megmaradt egy bór–atommag és visszalökődött (jobbra felfelé). Az α–rész és bór–atommag impulzusait vektorok módjára felmérve megállapíthatjuk a berepülő neutron impulzusát. Ilyen kísérletekkel bizonyították a neutrínó létezését a debreceni Atommag Kutatóintézetben Szalay Sándor és Csikay Gyula.

Az impulzus megmaradásának törvénye a természetben mindig, kivétel nélkül érvényes, viszont a mechanikai energiamegmaradás törvénye, (amely szerint a helyzeti és mozgási energia összege állandó) csak korlátozottan érvényes, pl. súrlódás, rugalmatlan ütközés esetei.

Az ütközés a gránát szétrobbanásához képest ellentétes folyamat. Az ütközés törvényeit legkönnyebben, az impulzusfogalom felhasználásával vezethetjük le. Ez a kérdés vezetett az impulzusfogalom kialakulására is. A fizika története folyamán nem az volt a sorrend, ami ebben a cikkben olvasható. Galilei 1638-ban foglalkozott az ütközéssel, de nem sok sikerrel. Az ütközés helyes törvényét Descartes Ismerte fel 1644-ben, ugyanekkor megalkotta az impulzus fogalmát. Amit még az ütközés körül tisztázni kellett, azt elvégezték 1669-ben Wallis és Huygens. Newton nagy fizikai munkája 1686-ban jelent meg a Newton-féle axiómák tartalma ezután került kapcsolatba az impulzussal. Évszázadunkban az impulzus–fogalom még egy fejlődésen ment át: a relativitáselmélet felhívta arra a figyelmet, hogy szigorúan véve csakis úgy szabad meghatározni az erőt, mint az 1 másodpercre eső impulzusváltozást, és ez a mennyiség kissé eltér a tömeg és gyorsulás szorzatától. Ez csak igen nagy sebességeknél vehető észre, oka az idő és távolságmérések eredményének a sebességtől való függése.