

◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

## A tömegnövekedés

Korábbi tanulmányainkból tudjuk, hogy az elektron tömege az elektromos vagy mágneses térben történő eltérítés alapján, a töltés ismeretében meghatározható. Az elektronokat különböző sebességre gyorsítva, és a tömeget meghatározva megállapítható, hogy *az elektron tömege nem állandó, hanem függ a sebességtől*. Az alábbi táblázatban feltüntettük az elektron tömegét néhány különböző sebességnél.

$v$ ( $10^6$ m/s)	0	30	100	200	250	290
$m$ ( $10^{-31}$ kg)	9,1	9,2	9,7	12,2	16,5	35,9

Látható, hogy a sebesség növekedése a tömeg növekedésével jár együtt. Megfigyelhetjük azonban azt is, hogy a tömegnövekedés csak rendkívül nagy sebességeknél számottevő. Kis sebességeknél az eltérés jelentéktelen. Még a fénysebesség 1/3 részénél is csupán 5% körüli a változás.

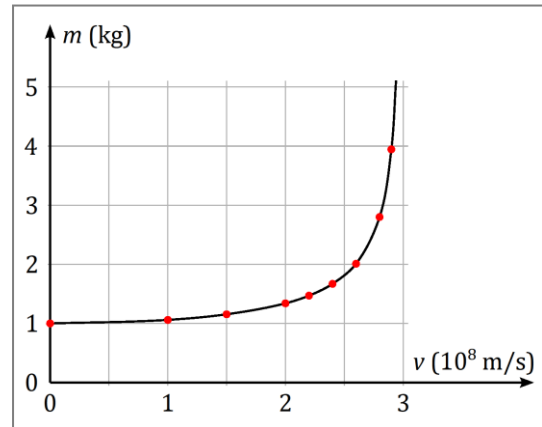
Az elektron tömegnövekedése a klasszikus newtoni mechanika alapján nem érthető. A jelenséget csak a *speciális relativitáselmélet* alapján lehet megmagyarázni. A speciális relativitáselmélet egyik fontos megállapítása: *A testek tömege nem állandó, hanem a sebesség függvényében változik*. Ha a test álló helyzetben mért *nyugalmi tömege*  $m_0$ , akkor *a  $v$  sebességgel mozgó test mozgási tömege*:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (1)$$

összefüggés alapján számítható ki. A képletben  $c$  a vákuumbeli fénysebességet jelöli.

Hangsúlyozni kell, hogy ez az összefüggés bármely testre érvényes, nem csak az elektronokra. Könnyen belátható azonban, hogy a megszokott sebességeknél ez a változás elhanyagolható. Például egy 30 km/s sebességű űrrakétánál is csupán  $1,000\,000\,005 \cdot m_0$  lesz a mozgási tömeg.

Az (1) képlet alapján grafikonon ábrázoltuk egy 1 kg tömegű test mozgási tömegét a sebesség függvényeként. Látható, hogy a tömeg a függvény kezdeti szakaszán rendkívül lassan növekszik, és csak 260 millió m/s sebességnél éri el a nyugalmi tömeg kétszeresét. A grafikonról is leolvasható: *Kis sebességeknél a nyugalmi és a mozgási tömeg ugyanakkorának tekinthető.* Emiatt a newtoni mechanika törvényei a szokásos sebességeknél (ha a  $v/c \ll 1$  egyenlőtlenség teljesül) érvényesek maradnak.



A grafikonon látható az is, hogy a fénysebességhez közeledve a görbe egyre meredekebbé válik. Az (1) képlet alapján kiszámítottuk az 1 kg nyugalmi tömegű test tömegét a fénysebességhez közeli sebességeken:

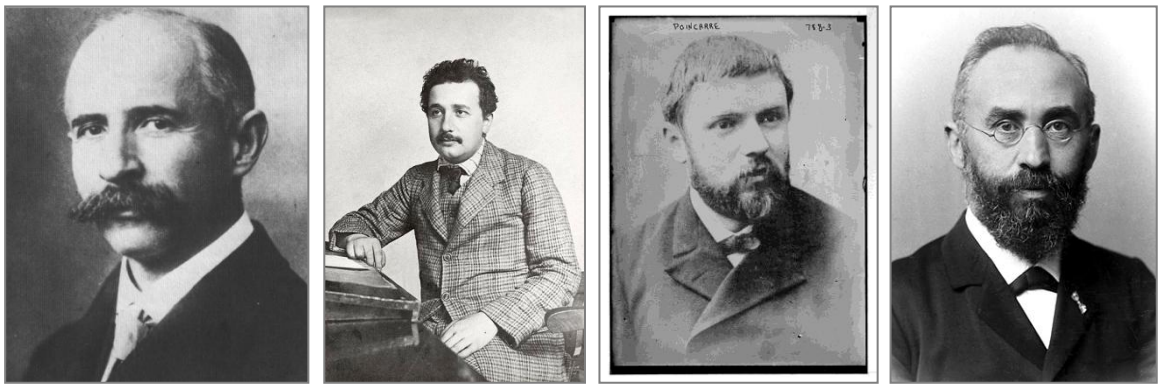
$v$ ( $10^6$ m/s)	0	295	299	299,7	299,79	299,792
$m$ (kg)	1	5,6	13,8	40,3	246,9	572,1

Látható, hogy a fénysebesség ( $c = 299\,792\,458$  m/s) közelében a test tömege óriási mértékben megnövekszik. A tömegnövekedés miatt tehát ugyanaz a kölcsönhatás egyre kisebb gyorsulást okoz. Például  $v = 299\,792\,457$  m/s sebességnél a gyorsulás a nyugalmi helyzetben mérhető gyorsulásnak kb. tízezred része. Tehát *a testet gyorsító erőhatás a fénysebesség közelében alapvetően nem a test sebességének, hanem a tömegének növekedését eredményezi.*

Mindez összhangban van a speciális relativitáselmélet egyik alapvető megállapításával: *A fénysebesség a világegyetemben a legnagyobb sebesség. Egyetlen test sem mozog ennél gyorsabban, és egyetlen hatás sem terjed ennél nagyobb sebességgel.* Ugyanezt támasztja alá az a tény is, hogy az (1) képlet jobb oldalán álló kifejezés  $v = c$  esetén nincs értelmezve.

## Kiegészítések

1. Az elektronok tömegnövekedését Walter *Kaufmann* (1871–1947) német fizikus észlelte először 1901–1905 között végzett mérései során.
2. A speciális relativitáselmélet kidolgozója Albert *Einstein* (1879–1955) német fizikus volt. Einstein 1900-ban szerzett fizikatanári oklevelet, ezt követően a svájci szabadalmi hivatalnál dolgozott. 1905-ben az *Annalen der Physik* című német fizikai folyóiratnál 4 cikke jelent meg, ezek között volt a relativitáselméletre vonatkozó munkája is. 1914-től Berlinben volt egyetemi tanár, de 1933-ban a fasizmus elől az USA-ba emigrált, és ott élt haláláig.



3. A speciális relativitáselmélet kidolgozásában jelentős szerepet játszott Jules Henri *Poincaré* (1854–1912) francia matematikus, fizikus és csillagász és Hendrik Antoon *Lorentz* (1853–1928) holland fizikus is. Lorentz a „mágnesesség sugárzási jelenségekre gyakorolt hatásának vizsgálata terén” elért eredményeiért 1902-ben fizikai Nobel-díjat kapott. Az ő nevét őrzi a mágneses mezőben mozgó elektromosan töltött részecskékre ható erő elnevezése is (Lorentz-erő).
4. A *részecskegyorsítókban* a részecskék sebessége olyan nagy, hogy a gyorsító tervezésénél, működtetésénél és a mérési adatok kiértékelésekor figyelembe kell venni a tömegnövekedést is. (A képen az első magyarországi gyorsító látható, amelyet *Simonyi Károly* tervezett és épített a *Soproni Egyetemen* 1951-ben. A gyorsítót működtető, azzal egybeépített Van de Graaff-generátor 750 000 V nagyságú feszültséget állított elő.)



## Képek jegyzéke

	<b>Tömeg–sebesség grafikon 1 kg nyugalmi tömegű testnél</b> © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0676.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0676.svg</a>
	<b>Kaufmann arcképe</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walter_kaufmann.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walter_kaufmann.png</a>
	<b>Einstein a speciális relativitáselmélet kidolgozásának idején (1905)</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_ETH-Bib_Portr_05937.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Einstein_ETH-Bib_Portr_05937.jpg</a>
	<b>Poincaré arcképe</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poincarre_LCCN2014683830.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poincarre_LCCN2014683830.jpg</a>
	<b>Lorentz arcképe</b> W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H_A_Lorentz_(Nobel).jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H_A_Lorentz_(Nobel).jpg</a>
	<b>Az első magyar gyorsító Van de Graaff-generátora</b> © <a href="http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0686.jpg">http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0686.jpg</a> <i>További fotók:</i> © <a href="http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fizfoto3.html">http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fizfoto3.html</a>

### Jelmagyarázat:

© **Jogvédtett anyag**, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.