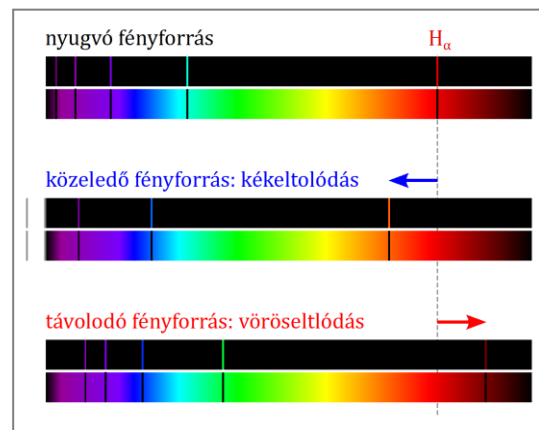


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

A világegyetem fejlődése

A *Doppler-hatás fényhullámoknál* című fejezetből tudjuk, hogy ha a fényforrás mozog, akkor az általa kibocsátott fény hullámhossza más, mint amikor a fényforrás nyugalomban van. Ha az egyszínű fényt kibocsátó fényforrás a megfigyelőhöz közeledik, akkor a fény hullámhossza csökken, ha a fényforrás távolodik, akkor a fény hullámhossza megnő. Ennek megfelelően az adott színnek megfelelő színeképvonal az első esetben az ibolya, a második esetben a vörös irányába tolódik el. Ezt a jelenséget *kékeltolódásnak*, illetve *vöröseltolódásnak* nevezzük.



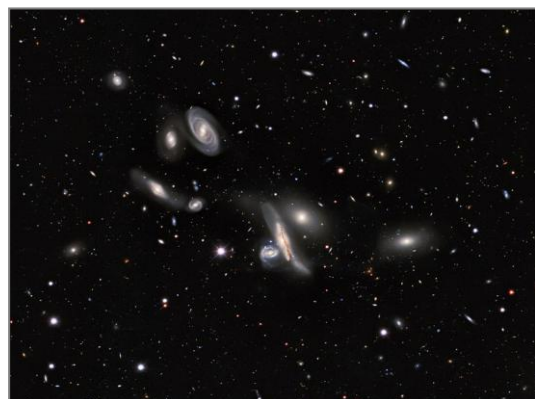
Ha a fény egy csillagból (világító gáz) származik, akkor például a hidrogén, illetve a hélium színeképvonalai a csillag Földhöz viszonyított sebességétől függően eltolódnak. A csillagászati megfigyelések során ez a jelenség kimutatható.

Érdekes módon azonban minden ilyen mérésnél (saját galaxisunkat, a Tejútrendszert nem számítva) *a galaxisok fényében csak a színeképvonalak vörös felé való eltolódását lehetett kimutatni*. Ez azt jelenti, hogy valamennyi megfigyelt csillag, galaxis távolodik a Földtől, illetve a Tejútrendszertől. További vizsgálatok azt mutatták, hogy a galaxisok egymástól is távolodnak. A mérések szerint *a galaxisok egymástól történő távolodásának sebessége egyenesen arányos a távolságukkal*, azaz a két mennyiség hányadosa állandó. Képlettel:

$$\frac{v}{r} = \text{állandó.}$$

Ezt az állandót *Hubble-állandónak* nevezzük, jele H . Értéke a mérések szerint:

$$H = 2,4 \cdot 10^{-18} \frac{1}{s}$$

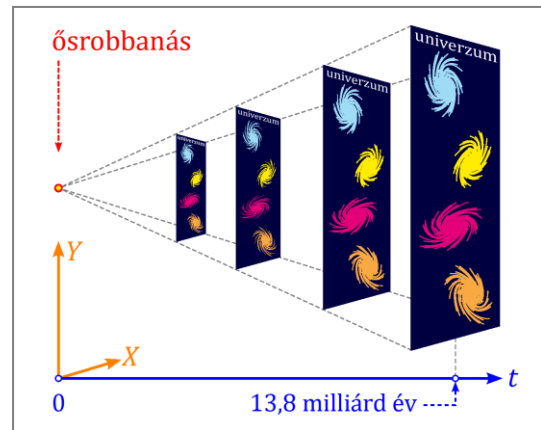


Ezek szerint

$$H = \frac{v}{r}.$$

Ezt az összefüggést *Hubble-Lemaître-törvénynek* (vagy röviden *Hubble-törvénynek*) nevezzük.

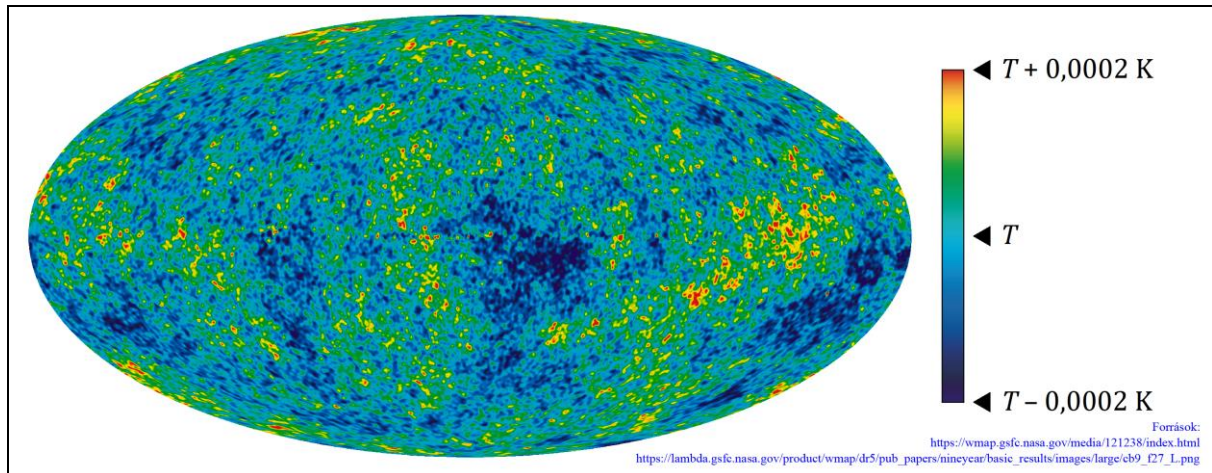
A világegyetem ezek szerint folyamatosan tágul, a galaxisok egyre távolabb kerülnek egymástól. Ha azonban az univerzum jelenleg tágul, akkor régebben kisebbnek kellett lennie. Fordítsuk meg gondolatban az univerzum tágulását! (Vetítsük gondolatban visszafelé az univerzum életéről készített filmet!) Visszafelé haladva az időben a galaxisok nem távolodnak, hanem közelednek egymáshoz, mégpedig a távolabbi galaxisok gyorsabban, a közelebb levők lassabban. Kimutatható, hogy a teljes világegyetem mintegy 13,8 milliárd évvel ezelőtt egyetlen parányi térrészre korlátozódott. A csillagászok és fizikusok mai véleménye szerint az egész ma ismert univerzum egyetlen pontból kirobbanva jött létre egy olyan irtózatoss erejű robbanással, amelynek következtében az anyag még ma is óriási sebességgel minden irányba száguld. Ezt a kezdeti robbanást *ősrobbanásnak* nevezzük.



Az univerzum tágulásának egyik következménye, hogy az *ősrobbanás óta az univerzum fokozatosan lehűlt*. Az elméleti számítások szerint a világegyetemnek az eltelt 13,8 milliárd év alatt 2,7 K hőmérsékletűvé kellett válnia. Ennek kísérleti bizonyítékát a rádiócsillagászok találták meg: *Ma a világűr minden irányából olyan mikrohullámú tartományba eső elektromágneses hullám érkezik, amelyet a 2,725 K hőmérsékletű testek bocsátanak ki*.

Ennek megértéséhez vegyük figyelembe *A színeképek* című fejezetben látottakat: Az izzó testek hőmérsékletének növelésekor, megnő a kék és ibolya összetevők aránya, és ezzel párhuzamosan csökken a sárga és vörös összetevők aránya. Fordított irányban, *a hőmérséklet csökkenésekor a hosszabb hullámhosszú összetevők aránya növekszik*. Mindezek nem csak a látható fényre, hanem az összes elektromágneses sugárzásra érvényesek. Például a fehéren izzó vasdarab fényében a látható kék és ibolya fény is

előfordul. Ha vörösen izzik, akkor a látható tartományban már csak vörös fényt sugároz. Ha hőmérséklete $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor már nincs látható fény, de infravörös fényt még sugároz. A néhány kelvin hőmérsékletű testek már csak mikrohullámú sugárzást bocsátanak ki. *A $2,725\text{ K}$ -hez tartozó mikrohullámú sugárzás az egyik legfontosabb kísérleti bizonyítéka az ősrobbanás elméletének.*



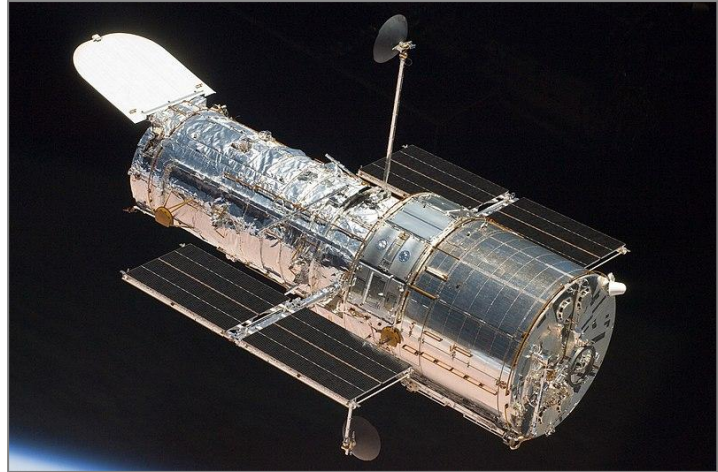
A fenti képen a világegyetem kozmikus háttérsugárzás alapján meghatározott hőmérsékleti térképe látható. A hőmérséklet gyakorlatilag minden irányban ugyanakkora, az eltérések nagysága csupán $\pm 0,0002\text{ K}$. (A méréseket 9 éven át folytatta a 2001-ben felbocsátott WMAP űrszonda, a fenti térképet ezekből állították össze. A WMAP kutatási program honlapja: <https://wmap.gsfc.nasa.gov/>.)

Kiegészítések

1. A csillagok fényének vöröseltolódását William *Huggins* (1824–1910) angol asztrofizikus mutatta ki 1868-ban. Mérésekkel igazolta, hogy a *Szírusz* fényében a hidrogén színeképvonalai a vörös felé tolódnak el.
2. A világegyetem tágulásának gondolatához 1927-ben elméleti úton jutott el Georges *Lemaître* (1894–1966) belga katolikus pap, elméleti fizikus és csillagász. Elméletét kezdetben elutasították, de két évvel később a mérések igazolták, hogy a galaxisok távolodnak egymástól. Lemaître vetette fel az ősrobbanás gondolatát is 1931-ben.



3. A galaxisok fényének vöröseltolódását megmérve Edwin *Hubble* (1899-1953) amerikai csillagász ismerte fel, hogy a galaxisok távolodnak egymástól. Ugyancsak ő ismerte fel 1929-ben a galaxisok sebessége és távolsága közti kapcsolatot megadó, róla elnevezett törvényt is (A *Nemzetközi Csillagászati Unió* a Hubble-törvény nevét 2018-ban Hubble-Lemaître törvényre változtatta, elismerve ezzel Georges Lemaître tevékenységét.) Tiszteletére az ő nevét viseli az első űrtávcső, az 1990-ben a *Discovery* űrrepülőgép segítségével felbocsátott *Hubble-teleszkóp* is.



4. A *Hubble-állandó* SI-mértékegysége:

$$[H] = \frac{[v]}{[r]} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{m}} = \frac{1}{\text{s}}.$$

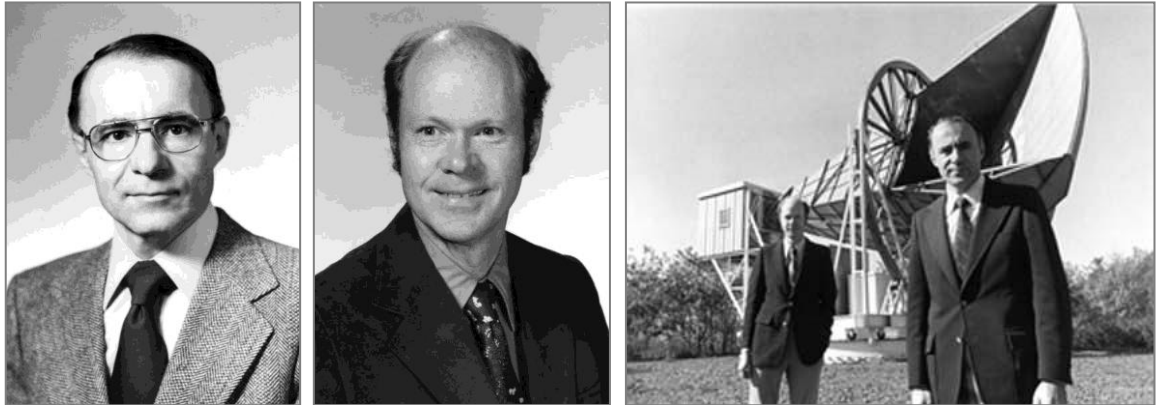
A gyakorlatban azonban a csillagászok a sebességnél a km/s, a távolságnál a megaparszek (Mpc) mértékegységet használják, így többnyire a Hubble-állandót is ezekkel az egységekkel kifejezve adják meg:

$$H = 73 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}.$$

5. Az ősrobbanás következményeként létrejövő *kozmosz mikrohullámú háttérsugárzás* gondolatát 1948-ban George *Gamow* (1904–1974) orosz származású, amerikai fizikus vetette fel. Gamow sikeres elméleti kutatásokat végzett az alfa-sugárzás és a termonukleáris reakciók terén is. Ez utóbbiban együtt dolgozott *Teller Ede* (1908–2003) magyar származású fizikussal.



6. A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást ugyan többen is észlelték, de nem tulajdonítottak neki jelentőséget, és nem kapcsolták össze az ősrobbanással. Végül 1964-ben Arno *Penzias* és Robert Woodrow *Wilson* amerikai fizikusok (szintén véletlenül, Gamow előrejelzését nem ismerve) fedezték fel a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást. Felfedezésükért 1978-ban fizikai Nobel díjat kaptak.







7. *Néhány közeli galaxisnál vöröseltolódás helyett kékeltolódást lehet megfigyelni.* Ez azt jelenti, hogy ezek a galaxisok közelednek a Tejútrendszer (benne a Naprendszer és a Föld) felé. Például az *Androméda-galaxis* kb. 100 km/s sebességgel közeledik a Tejútrendszer középpontja felé. Mivel a távolabbi galaxisok sebessége a Hubble-törvénynek megfelelően jóval nagyobb, ezért azok mindegyike ténylegesen távolodik tőlünk.

8. *A világegyetem tágulása jelenleg is tart, de ennek a folyamatnak a végéről nincsenek biztos információink.* A folyamatot jelentősen befolyásolhatja az univerzum teljes tömege és az univerzumban található feltételezett *sötét anyag* mennyisége is. (Ez olyan anyagfajta, amely csillagászati műszerekkel közvetlenül nem figyelhető meg, mert semmilyen elektromágneses sugárzást nem bocsát ki és nem nyel el, jelenlétére csak a látható anyagra és a háttérsugárzásra kifejtett gravitációs hatásából következtethetünk.)



Képek jegyzéke

	<p>A hidrogén színképvonalainak kék- és vöröseltolódása</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0671.svg</p>
	<p>Galaxisok</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copeland_Septet_group_of_galaxies.jpg</p>
	<p>Az ősrobbanás és a világegyetem tágulása</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0759.svg</p>
	<p>A világegyetem hőmérsékleti térképe a háttérsugárzás alapján</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0760.svg</p> <p><i>Források:</i></p> <p>© https://wmap.gsfc.nasa.gov/media/121238/index.html</p> <p>© https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/wmap/dr5/pub_papers/nineyear/basic_results/images/large/cb9_f27_L.png</p>
	<p>Lemaître arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lemaitre.jpg</p>
	<p>Hubble arcképe</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_(cropped).JPG</p>
	<p>A Hubble-űrtávcső</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_2009_close-up.jpg</p>
	<p>Gamow arcképe</p> <p>© https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A297860</p>

	<p>Arno Penzias arcképe © https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A306137</p>
	<p>Robert Woodrow Wilson arcképe © https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A315046</p>
	<p>Penzias és Wilson az általuk használt mikrohullámú vevőantenna előtt W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wilson_penzias200.jpg <i>Nagyobb felbontásban:</i> © https://repository.aip.org/islandora/object/nbla%3A314810</p>
	<p>Galaxisok W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galaxy_Cluster_MACS_J1206.2-0847.jpg</p>

Jelmagyarázat:

- © **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.