ALTERNATOR
Misliti znanost.

Helij kot strateška surovina

24. 7. 2025

Številka: 14/2025

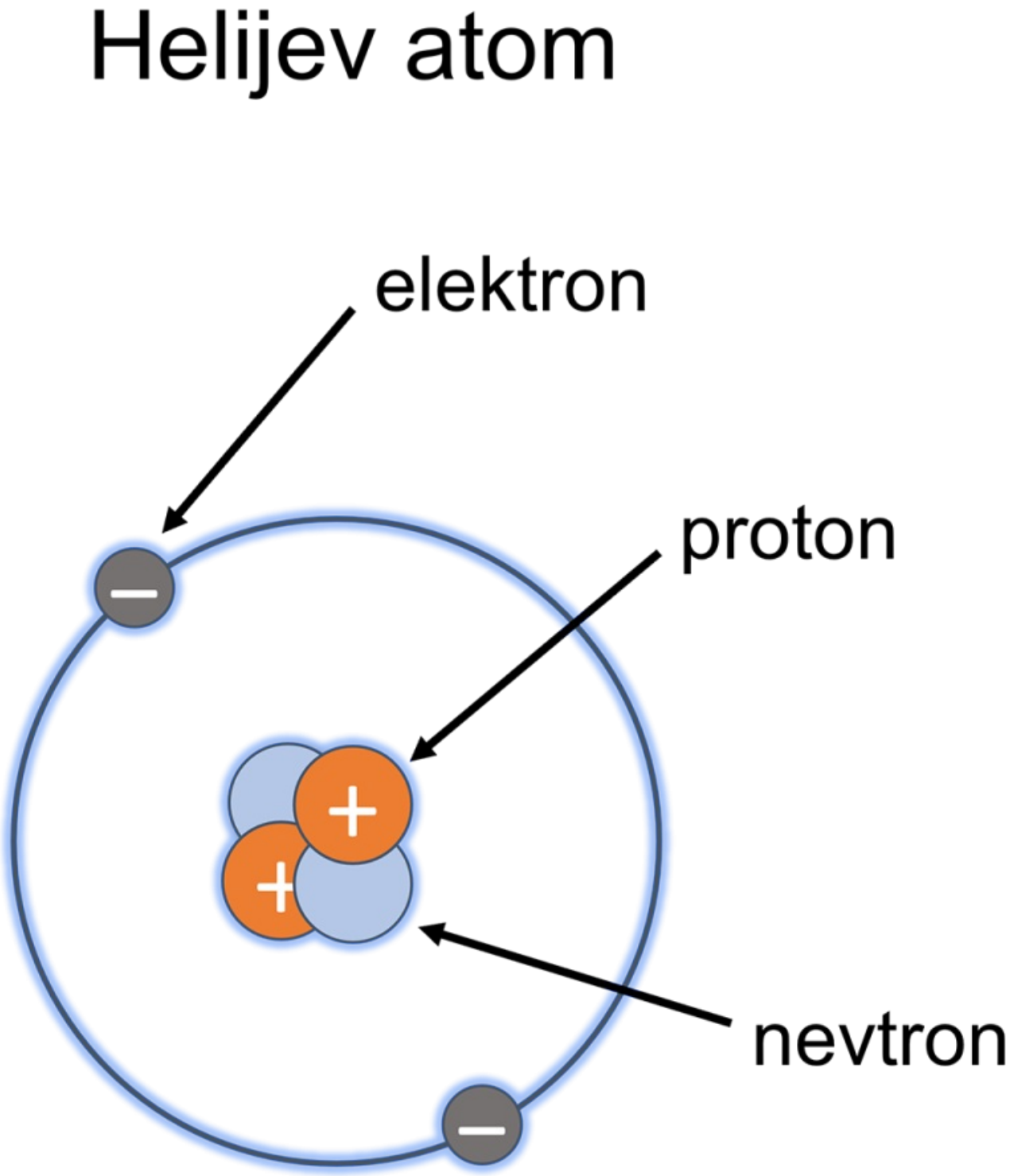
Avtor:

- Jože Luzar



Foto: Arne Hodalič

Čeprav ob besedi helij (He) največkrat pomislimo na balone in rojstnodnevne zabave, je ta žlahtni plin mnogo več kot to. V periodnem sistemu elementov ga najdemo na drugem mestu in je težji le od vodika (H). Odkrili so ga 18. avgusta 1868 med opazovanjem Sončevega mrka in ga poimenovali *helium* – ime izvira iz grške besede *helios*, kar pomeni Sonce (Wheeler 2015 (https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-15123-6)). Čeprav je na zemlji dokaj redek, ker pobegne v vesolje (več o tem v nadaljevanju), je v vesolju drugi najpogostejši element. Spada med žlahtne pline (https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%BDlahtni_plin) , ki imajo zapolnjene zunanje elektronske ovojnice, kar pomeni, da imajo stabilno elektronsko konfiguracijo in so kemijsko zelo stanovitni, zato ne reagirajo z drugimi elementi. Helij na Zemlji nastaja kot produkt razpada alfa (https://sl.wikipedia.org/wiki/Razpad_alfa) radioaktivnih elementov, kot sta uran (U) in torij (Th). Pri tem procesu se sprostijo delci alfa, ki so pravzaprav jedra helija (dva protona in dva nevtrona). Ko se ti delci upočasnijo, iz okolice zajamejo še dva elektrona in tako tvorijo stabilne atome plinastega helija (Slika 1). Nastajanje helija v zemeljski skorji je razmeroma počasno, zato ga običajno pridobivamo kot stranski produkt pri izkoriščanju zemeljskega plina. Nabira se v podzemnih prostorih, ki dobro tesnijo, največja nahajališča helija pa so v ZDA, Katarju, Alžiriji in Rusiji. Helij predstavlja 0,000524 % celotne zemeljske atmosfere, kar nikakor ni zanemarljivo (Cox 2002 (https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-1186-0)), zaradi izjemno visoke cene pridobivanja helija iz atmosfere pa ostaja ta vir neizkoriščen. Kot zanimivost naj dodamo še, da je helij nastal že nekaj minut po velikem poku, a tega v članku ne bomo podrobneje obravnavali (Wheeler 2015 (https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-15123-6)).



Slika 1: Helijev atom – dva nevtrona, dva protona in dva elektrona, ki krožita okoli jedra. Avtorica slike: Julia Petrović, Institut "Jožef Stefan"

Zdaj pa si poglejmo nekaj fizikalnih in kemijskih lastnosti helija. Poleg industrijske in znanstvene vrednosti je helij znan tudi po svojih zabavnih učinkih – verjetno ste že slišali spremenjen, visok glas nekoga, ki je vdihnil helij. Da bi razumeli, kako helij vpliva na človeški glas, je koristno najprej razmisliti o tem, kako nastanejo in potujejo zvočni valovi, pa tudi o nekaterih osnovnih lastnostih plinov.

Zvočni valovi nastanejo z vibracijami nekega telesa (npr. bobnarske opne ali glasilk) v mediju, kot je zrak. Ko udarimo po bobnu, se začne njegova opna premikati navzgor in navzdol. Ko se premika navzgor, potiska molekule zraka nad seboj proti drugim molekulam. Te se pri tem stisnejo skupaj, zaradi česar nastane nad opno območje višjega tlaka, ki se širi

stran od bobna. Medtem se opna premakne navzdol in nato spet navzgor, kar povzroči novo stiskanje. To zaporedje stiskanja molekul, ki se premikajo, je zvočni val, razdalja med dvema zaporednima stiskoma pa se imenuje valovna dolžina.

Vsi plini imajo pri danem tlaku in temperaturi enako število molekul na prostorninsko enoto, ne glede na to, ali gre za helij ali dušik (ki predstavlja glavnino zraka). Vendar pa nimajo vse molekule plinov enake mase. Dušik (N) (in s tem zrak) ima približno sedemkrat večjo maso kot helij. Zato je dušik gostejši od helija, zvočni valovi pa se skozi gostejši medij širijo počasneje kot skozi redkejši helij. Pri 20 °C se zvok v heliju širi s hitrostjo približno 927 metrov na sekundo, v zraku pa le s 344 metri na sekundo. Zaradi nizke mase doseže helij v zgornjih plasteh atmosfere še višjo hitrost in tako uide gravitaciji Zemlje, zato ga nenehno izgubljamo, saj za vedno pobegne v vesolje.

Tako kot pri vibraciji bobna ali strune na violini je tudi frekvenca vibriranja glasilk neodvisna od vrste plina, ki jih obdaja. Čeprav se hitrost širjenja zvočnih valov v heliju poveča (in valovna dolžina postane daljša), frekvenca ostane nespremenjena, saj jo določa vibracija glasilk. Spremeni pa se barva oziroma kakovost zvoka, ki je posledica nižje gostote helija – medija, skozi katerega potujejo zvočni valovi v grlu (Montgomery 2004 (https://www.scientificamerican.com/article/why-does-inhaling-helium/)).

Drugi zanimiv pojav je dviganje balona, napolnjenega s helijem (Slika 2). Ti baloni se (v primerjavi z baloni, napolnjenimi z zrakom) dvignejo pod strop in nam uidejo, če jih ne privežemo na vrvico, da lahko le z žalostjo gledamo, kako bežijo. Zakaj se to zgodi? Tudi za ta pojav je odgovorna nizka gostota helijevega plina, ki je mnogo nižja od gostote naše atmosfere, sestavljene predvsem iz dušika in kisika (O) z mnogo višjo molsko maso. Masa helija je tako nizka, da ga sila vzgona, ki sicer deluje na vse stvari, potisne k višjim slojem atmosfere.





Slika 2: Vijoličasti balon je napolnjen s helijem, zato lebdi, roza balon pa je napolnjen z atmosfersko mešanico, zato prosto visi. Foto: Jože Luzar, Institut "Jožef Stefan"

Če s helijem napolnjeni balon po nekaj dneh ali tednih še ni ušel, se zagotovo počasi pomika proti tlom. Čeprav si balon predstavljamo kot neprodušno zaprt prostor, to še zdaleč ne velja. Molekula helija je tako majhna, da lahko uide skozi najmanjšo špranjico, četudi je ta prostemu očesu nevidna – ta pojav imenujemo difuzija (https://sl.wikipedia.org/wiki/Difuzija) . Količina helija v balonu se zato zmanjšuje; ko enkrat pade na tla, je helija v njem že tako malo, da je masa balona prevelika, da bi ga plinasti helij še lahko držal v zraku.

Uporaba helija

Čeprav smo prispevek začeli z bolj zabavnimi uporabami helija, pa je ta plin v resnici pomembna industrijska surovina. V nadaljevanju si bomo ogledali nekaj primerov praktične uporabe helija v industriji in raziskovalni dejavnosti. Za prvi primer uporabe vzemimo varjenje kovin, pri čemer se helij uporablja kot zaščitni plin, saj zaradi svoje inertnosti preprečuje kemijske reakcije s kisikom. Var bi namreč zaradi visoke temperature pri stiku z navadno atmosfero v trenutku oksidiral, z uporabo helija pa oksidacijo preprečimo. Poleg tega se helij uporablja pri izdelavi elektronskih naprav (predvsem za

hlajenje in stabilizacijo temperature pri procesu jedkanja čipov) ter tudi za testiranje tesnosti visoko- in nizkotlačnih sistemov, kjer lahko z njegovo pomočjo zaradi majhnosti helijeve molekule odkrivamo morebitne odprtine. Helij je ključnega pomena tudi v medicini, kjer se v tekoči obliki uporablja za hlajenje kovinskih tuljav superprevodnih magnetov za slikanje tkiv z magnetno resonanco (MRI – angl. *Magnetic Resonance Imaging*). Superprevodnost je pojav, ko električni tok skozi neko kovino teče brez izgub. Ta pojav opazimo pri nizkih temperaturah, ki jih lahko dosežemo s tekočim helijem, saj je temperatura tekočega helija zgolj 4,2 K oziroma –269 °C. Nepogrešljiv je tudi v vesoljski industriji, kjer se uporablja pri raketnem pogonu in testiranju opreme, in še bi lahko naštevali (Innovation News Network editorial team 2015 (https://www.innovationnewsnetwork.com/exploring-the-helium-shortage-in-2025/57119/) , Innovation News Network editorial team 2014 (https://www.innovationnewsnetwork.com/the-essential-role-of-helium-in-the-green-transition/50194/)).

Kot zanimivost naj omenimo, da je helij pri temperaturi, nižji od 2,2 K, supertekoč (https://sl.wikipedia.org/wiki/Superteko%C4%8Dnost) . V takem stanju lahko »pleza« po stenah posode, v kateri ga hranimo, in enostavno zleze skozi pore, ki niso večje od premera molekule. Če posodo, v kateri ga hranimo, zavrtimo, pa supertekoči helij miruje (Minkel 2009 (https://www.scientificamerican.com/article/superfluid-can-climb-walls/)).

Na Institutu "Jožef Stefan" na letni ravni porabimo velike količine helija, predvsem v tekoči obliki. Zaradi svoje nizke temperature se utekočinjeni helij pogosto uporablja v raziskovalne namene, predvsem za hlajenje superprevodnih magnetov ter za meritve fizikalnih lastnosti materialov pri nizkih temperaturah. Zaradi njegove visoke cene in trajnostnosti plinastega helija na IJS ne spuščamo v zrak, temveč se trudimo, da ga čim več recikliramo, tako da ga zbiramo in potem ponovno utekočinimo. V nadaljevanju si bomo na kratko pogledali ta tehnološko zahtevni proces.

Utekočinjanje helija

Vsaka naprava na našem inštitutu, ki za delovanje potrebuje tekoči helij, je zaradi počasnega izparevanja tekočega helija iz naprave priključena na več kot kilometer dolgo povratno helijevo zanko. Na ta način ujamemo veliko večino plinastega helija, ki ga zbiramo v ogromnem balonu. Ko se balon napolni, kompresor stisne plin iz njega v visokotlačne plinske jeklenke, ki jim rečemo tudi zalogovnik onesnaženega plina. Tu se beseda *onesnažen* nanaša na to, da so v plinu, ki ga zberemo v balonu, prisotne tudi nečistoče, ki jih običajno vnesemo pri rokovanju s tekočim helijem, npr. plinasti dušik, kisik in vodna para, oljno paro in kapljice pa vnesemo s kompresorjem. Vse te nečistoče je treba pred procesom utekočinjanja odstraniti, za kar uporabljamo dodatne naprave. Vodo odstranimo s sušilcem plina, olje z odstranjevalcem olja na osnovi aktivnega oglja, preostale nečistoče pa zamrznejo na izmenjevalcih toplote v osrednjem delu utekočinjevalnika oziroma v *cold boxu* (Slika 3 levo), saj imajo bistveno višjo temperaturo rosišča in ledišča kot helij. Tako očiščen helijev plin nato shranimo v zalogovniku čistega plina, kjer je pripravljen na utekočinjanje. Helijev plin utekočinjamo sami z edinim industrijskim utekočinjevalnikom helija v Sloveniji. Povpraševanje po tekočem heliju na inštitutu ves čas narašča, saj se nenehno odpirajo nova področja raziskav, za katera potrebujemo nove visokotehnološke naprave, zanje pa tekoči helij. V zadnjih desetih letih smo postopoma povečali letno proizvodnjo tekočega helija z 20.000 na 30.000 litrov.



Slika 3: Levo *cold box*, osrednji del utekočinjevalnika; desno Dewarjeva posoda, zalogovnik utekočinjenega helija. Foto: Jože Luzar, Institut "Jožef Stefan"

Naš utekočinjevalnik v eni uri iz plinastega helija, ki ni ohlajen (je na sobni temperaturi), naredi 20 litrov tekočega. Če bi plinasti helij predhodno hladili s tekočim dušikom, ki ima temperaturo –196 °C oziroma 77 K, bi povečali kapaciteto utekočinjanja na kar 50 litrov na uro. Postopek utekočinjanja plinastega helija moramo izvajati v vakuumu (https://sl.wikipedia.org/wiki/Vakuum) , ki je najboljši izolator. Brez dobre izolacije bi tako nizko temperaturo zelo težko dosegli, izgube energije pa bi bile ogromne. Poleg tega bi se celotna naprava spremenila v sneženega moža: zaradi nizkih temperatur bi vlaga iz zraka na zunanji strani utekočinjevalnika zmrznila, kar bi onemogočilo mehanske in elektronske dele, utekočinjanje pa ne bi bilo več mogoče. Pline utekočinjamo z nižanjem temperature, z višanjem tlaka ali s kombinacijo obojega. Ker ima helij najnižjo temperaturo rosišča od vseh kemijskih elementov (to je temperatura, pri kateri plin prehaja iz plinastega v tekoče agregatno stanje), ga lahko utekočinimo zgolj z višanjem tlaka in z razpenjanjem. To počnemo z Joule-Thomsonovim ciklom (https://sl.wikipedia.org/wiki/Joule-Thompsonov_pojav) : plin stisnemo in ga nato skozi majhen ventil adiabatno razpnemo – pri tem postopku plin niti ne odda niti ne sprejme nobenega dela, pri tem pa se ohladi. V vsakem ciklu stiskanja in razpenjanja se temperatura plina zniža, ker pa se v enem ciklu plin ne ohladi dovolj, da bi se utekočinil, to počnemo toliko časa, dokler iz plinastega helija ne dobimo tekočega, ki ga nato hranimo v ogromni Dewarjevi posodi (https://sl.wikipedia.org/wiki/Dewarjeva_posoda) (Slika 3 desno). Taka posoda deluje na enak princip kot termovka za čaj – med stenama dveh posod je vakuum, ki deluje kot izolator. Tekoči helij nato pretočimo v manjše, mobilne Dewarjeve posode, ki jih uporabimo za razvoz tekočega helija do laboratorijev, kjer ga ponovno uporabimo, celoten cikel pa se ponovi.

Dragoceni vir, ki ga spuščamo v zrak

V zadnjih devetih letih je cena plinastega helija v Sloveniji narasla za kar 700 % in prav nič ne kaže, da bi se trend obrnil, zato je trajnostno ravnanje s helijem toliko pomembnejše. Kljub visoki ceni pa ga inštituti, fakultete, bolnišnice in druge ustanove ne lovijo, temveč ga spuščajo v zrak. Razlog za to je precej preprost – kot primer vzemimo bolnišnice, ki tekoči helij uporabljajo za hlajenje magnetov za slikanje z magnetno resonanco. V Sloveniji so stavbe bolnišnic precej stare, v času njihove gradnje pa cena helija ni bila niti približno tako visoka kot danes. Infrastruktura za regeneracijo helija tako ob gradnji sploh ni bila predvidena, naknadna montaža pa je zelo zapletena, saj zanjo potrebujemo precej prostora, ki ga že tako močno primanjkuje. Ta težava ne pesti zgolj Slovenije, saj se z enakimi težavami srečujejo tudi drugod po svetu. Na Institutu "Jožef Stefan" zaradi dobre in premišljeno izvedene infrastrukture za utekočinjanje in regeneracijo hujšega pomanjkanja helija ne zaznavamo, kolegi z drugih institucij, tudi v tujini, kjer helija ne lovijo, pa večkrat ostanejo brez tega žlahtnega »tekočega zlata«.

Ugotovili smo, da je helij izjemno pomemben element, ki zaradi svojih lastnosti presega zgolj uporabo za zabavo. Nizka gostota, kemijska inertnost in nizka temperatura v tekočem stanju ga uvrščajo med ključne vire v številnih industrijskih, medicinskih in znanstvenoraziskovalnih aplikacijah. Čeprav je helij drugi najpogostejši element v vesolju, pa so na Zemlji

zaloge omejene. Nastajal bo, vse dokler se ne razpolovi zadnji atom urana ali torija, kar bo trajalo še nekaj milijard let. Ko pa bo zmanjkalo teh dveh radioaktivnih elementov, bo tudi helij prenehal nastajati.

https://www.alternator.science/sl/daljse/helij-kot-strateska-surovina/