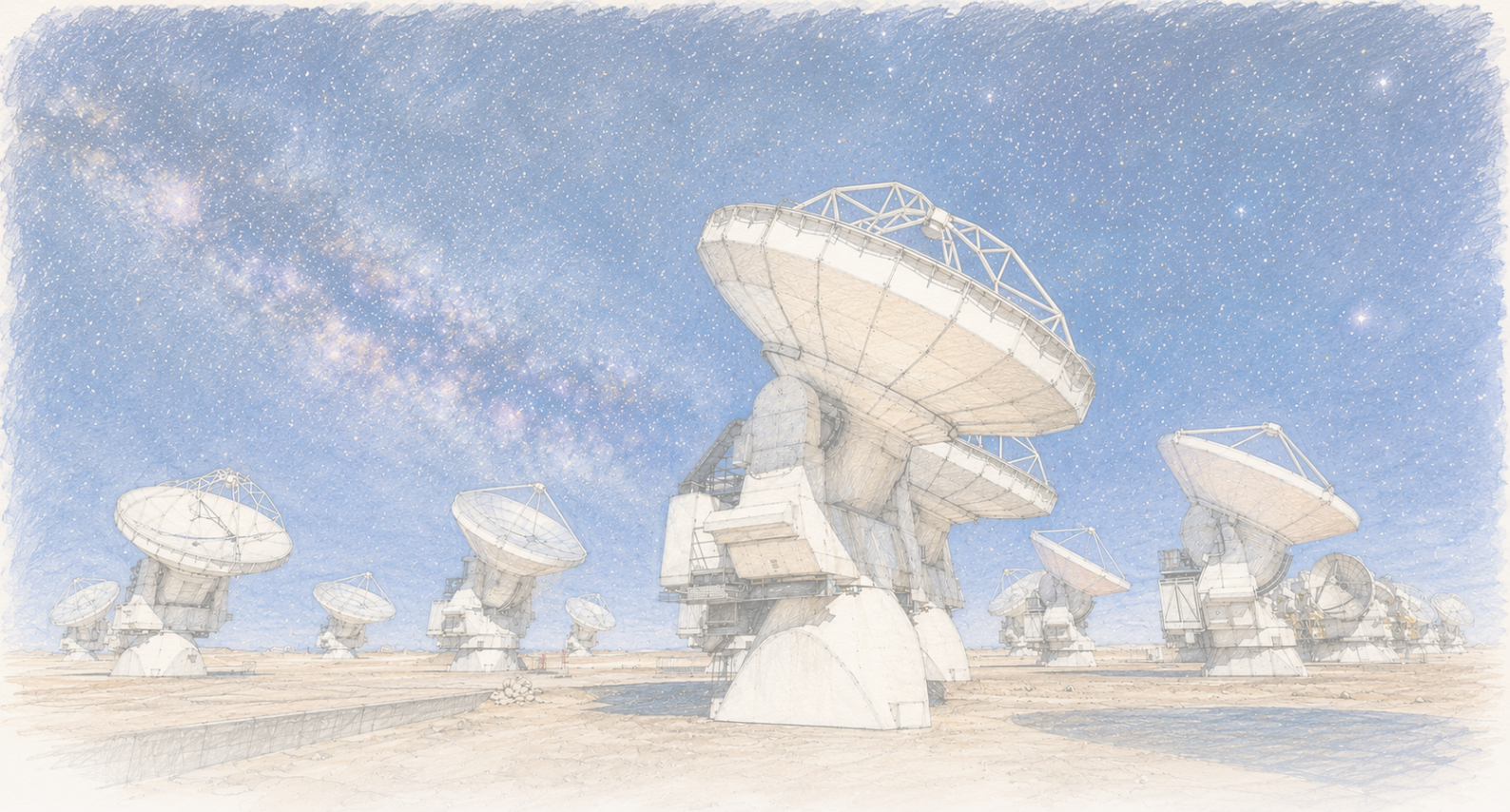




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

ከሌላ ኮከብ የመጣው 3I/ATLAS ኮሚት ከእኛ ኮሚቶች ይልቅ በቀዝቃዛ ሁኔታ የተፈጠረ ውሃ ይዟል — የሌላ ፕላኔታዊ ሥርዓት የመጀመሪያ የኬሚስትሪ ንባብ

ALMAን በመጠቀም፣ የሥነ ፈለክ ባለሙያዎች በ3I/ATLAS — ሦስተኛው የታወቀ ከኮከቦች መካከል የመጣ ነገር — ውሃ ውስጥ የካሊድ hydrogen ለተለመደ hydrogen ፊደን ገደብ በdeuterium በጣም እንደበለፀገ አገኙ፡- ቢያንስ ከምድር ውቅያኖሶች 40 እጥፍ ያህል፣ ከተለመደ የፀሐይ ሥርዓት ኮሚትም 30 እጥፍ ያህል። ይህ ከኮሚቶቻችን ይልቅ በቀዝቃዛ ሁኔታ የተፈጠረ ውሃን ይጠቁማል። ውጤቱ በተዘዋዋሪ የተገኘ ዝቅተኛ ገደብ ነው (ውሃው ራሱ በቀጥታ አልተገኘም)፣ እና ስለ ሕይወት ወይም ቴክኖሎጂ ምንም አይናገርም — ስለ ኬሚስትሪና ብርድ ብቻ ነው።

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Water D/H in 3I/ATLAS as a Probe of Formation Conditions in Another Planetary System*, L. E. Salazar Manzano, T. Paneque-Carreño et al., *Nature Astronomy* (2026) · DOI: 10.1038/s41550-026-02850-5



የDV-59 አንቴና ከፊት ሲታይ፣ ብዙ የALMA አንቴናዎች በጨረቃ ብርሃን የበራውን የሌሊት ሰማይ ይመለከታሉ። ምስል፡- Alex Pérez / ALMA Observatory።

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

ከሌላ ኮከብ የመጣ ኮሚት፣ እና በውሃው ውስጥ ያለው አሻራ

አልፎ አልፎ የእኛ ያልነበረ ነገር በፀሐይ ሥርዓታችን ውስጥ ያልፋል። hasteroid ቀበቶ የጠፋ ዓለት አይደለም፤ ከOort ደመና ረጅም ዙፋን ተከትሎ የሚመለስ ኮሚትም አይደለም፤ ከኮከቦች መካከል ሕዋ የገባ፣ ፀሐይን አንድ ጊዜ የሚዞርና ለዘላለም የሚሄድ በክፍት hyperbolic መንገድ ላይ ያለ ነገር ነው። አሁን ሦስት አይተናል። የመጀመሪያው፣ □Oumuamua በ2017፣ ሰዎች ምን እንደነበር ከመስማማታቸው በፊት ሊጠፋ ተቃርቦ ነበር። ሁለተኛው፣ 2I/Borisov በ2019፣ በግልጽ ኮሚት ነበር። ሦስተኛው፣ በጁላይ 2025 የተገኘው፣ 3I/ATLAS ነው — እና እውነተኛ የኬሚስትሪ ምርመራ ለማድረግ በቂ ንቁ coma አለው።

ጫጫታው ከመጀመሩ በፊት ሊያዝ የሚገባው ክፍል ይህ ነው። ከኮከቦች መካከል የመጣ ኮሚት፣ በቃል ትርጉም፣ የሌላ ፕላኔታዊ ሥርዓት ቁራጭ ነው፤ በሌላ ኮከብ ዙሪያ የተከማቸ በረዶና አቧራ፣ ምናልባት ከረጅም ጊዜ በፊት በስበት ኃይል ወደ ውጭ የተወረወረ፣ በጋላክሲው ውስጥ የተንሳፈፈ፣ እና በረዶው መትነን እንዲጀምር ከፀሐያችን ጋር በቂ ቅርብ ያለፈ ነገር፤ በዚያው ጊዜ ቴሌስኮፖቻችን ሊመለከቱት ችለዋል። ይህ እውነተኛው አስገራሚ እውነታ ነው፣ እና ሌላ ጌጥ ሳያስፈልገው በቂ ያስደንቃል።

ግን ጌጥ ይጨመርበታል። ከኮከቦች መካከል የሚመጡ ነገሮች፣ መብራት በሚደበዝበበትና አንድ ሰው ሠርቶት ቢሆንስ በሚል ጥያቄ የሚጫወት የተጋነነ ሽፋን ይሰባሉ፤ 3I/ATLASም የራሱን ድርሻ አገኘ። ታማኝ መልሱ አሰልቼ የሚመስለው ነው፣ እና እሱ ይበልጥ የሚሰብ ነው፡- ኮሚት ነው። እውነተኛው ጥያቄ ማንም ሠርቶት እንደሆነ አልነበረም። የተረጋጋው

ጥያቄ ነበር፡- በሌላ ኮከብ ዙሪያ የተሰራ ነገርን ኬሚስትሪ ማንበብ ቢቻል፤ ስለዚያ ኮከብ ቤተሰብ ምን ይነግረናል? እንዴትስ ይነበባል?

በዚህ ጊዜ የማንበቢያ መሣሪያው ውሃ ነው። ውሃ ሁለት hydrogen እና አንድ oxygen አለው፤ ነገር ግን ትንሽ የhydrogen ክፍል deuterium ነው — አንድ ተጨማሪ neutron ያለው ተራ hydrogen አቶም፤ ከባዱ መንታ። በውሃ ውስጥ ያለው የከባድ hydrogen ለተለመደ hydrogen ሬሾ፤ D/H ተብሎ የሚጻፈው፤ የዘፈቀደ አይደለም። ውሃው መጀመሪያ በተፈጠረበት ቦታ ምን ያህል ቀዝቃዛ እንደነበር በኬሚስትሪ በአብዛኛው ይወሰናል፤ መነሻው በቀዝቀዝና በተረጋጋ መጠን ይበልጥ ብዙ deuterium ይያዛል። ኮሚትም በመሠረቱ ጥልቅ ማቀዝቀዣ ስለሆነ — በረዶውን ለቢሊዮኖች ዓመታት በብርድ ሊያቆይ የሚችል — የውሃው D/H ሬሾ ውሃው የተፈጠረበትን ሁኔታ አሻራ ሊጠብቅ ይችላል።

የራሳችንን ሥርዓት አሻራዎች በመጠኑ በደንብ እናውቃለን፤ የምድር ውቅያኖሶችና የተለያዩ የፀሐይ ሥርዓት ኮሚቶች በመጠኑ ጠባብ ክልል ውስጥ ይሰበሰባሉ። ማንም በትክክል ያልወሰነው ነገር፤ በሌላ ኮከብ ዙሪያ ለተፈጠረ ውሃ ያው አሻራ ነበር። ጽሑፉ በ3I/ATLAS ውስጥ ሊያነብ የፈለገው ይህን ነው።

ደራሲዎቹ ምን አደረጉ?

ALMAን — በቺሊ በረሃ ያለውን ትልቅ የሬዲዮ ዲሽ ስብስብ — ኮሚቱ ፀሐይን ከዞረ ከስድስት ቀናት በኋላ፤ በ4 ኖቬምበር 2025፤ ወደ 3I/ATLAS አነጣጠሩ። በcomaው ውስጥ ካሉ ሦስት ሞለኩሎች የሚመጣውን ደካማ የሚሊሜትር ሞገድ ብርሃን ለመያዝ አስተካክሉት፡- ተለመደ ውሃ (H_2O)፤ ከባድ ውሃ (HDO)፤ አንዱ hydrogen deuterium የሆነበት)፤ እና methanol (CH_3OH)።

የፈለጉት D/H ሬሾ በተግባር የከባድ ውሃ ለተለመደ ውሃ ሬሾ ነው። ስለዚህ ሁለቱንም ያስፈልጋቸው ነበር። ከዚያ spectraውን ወደ እየሰፋ ያለ የኮሚት አየር radiative-transfer ሞዴል (SUBLIME የሚባል ኮድ) አስገቡ፤ የexoplanet ከባቢ አየርን ንጥረ ነገሮች ለማውጣት ከሚጠቀሙት ዓይነት የስታቲስቲክስ ዘዴ ጋር አስማሙት፤ ይህም ሙቀትን፤ ወደ ውጭ የሚፈሰውን ፍሰትና ኮሚቱ ከእያንዳንዱ ሞለኩሎል ምን ያህል እንደሚያመነጭ ለማወቅ ነበር።

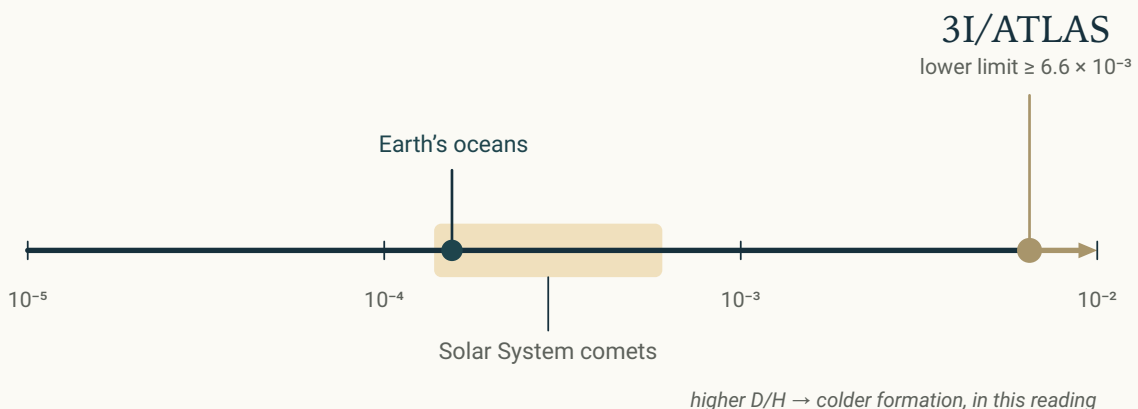
የሚቀጥለውን ሁሉ የሚቀርጽ አንድ ችግር አለ፡- ውሃውን በእውነት አላገኙትም። HDO እና methanol ታዩ፤ H_2O ራሱ ከድምፁ በታች ቀረ። ይህ ተለመደ ውሃ ስለሌለ አይደለም — ከከባዱ ይልቅ እጅግ ብዙ ነው። መስመር መታየቱ በሞለኩሎች ብዛት ብቻ አይወሰንም፤ ያ የተወሰነ መስመር ምን ያህል በቀላሉ እንደሚታይም ይወስነዋል፤ እዚህ ሁለት ነገሮች የውሃ መስመሩን ተቃውመዋል። መጀመሪያው ከባቢ አየር ነው፤ ሊያነጣጥሩት የቻሉት የ H_2O መስመር (183 GHz አቅራቢያ) የምድር ውሃ የያዘ አየር በጣም በሚዋጥበት ቦታ ላይ ነው፤ ስለዚህ ከመሬት ሆኖ የኮሚት ውሃን በዚያ ማንበብ በጭጋ ውስጥ ሻማ ለማየት እንደመሞከር ነው። ጽሑፉ እነዚህ ዝቅተኛ ኃይል ያላቸው የውሃ መስመሮች በከባቢ አየር በጣም እንደሚዋጡ፤ የከባድ ውሃ (HDO) መስመር ግን በ241 GHz አቅራቢያ በጠራ መስኮት ውስጥ እንደሚገኝ ይገልጻል። ሁለተኛው ስሜታዊነት ነው፤ የውሃው ቻናል እጅግ ይበልጥ ጫጫታ ነበረው — ለእያንዳንዱ beam 500 mJy ያህል፤ ለHDO ከነበረው 21 ጋር ሲነጻጸር — ስለዚህ ብዙ ምልክት እንኳ ሊደበቅበት ይችላል። በጭጋግና በጫጫታ መካከል፤ ብዙው ተለመደ ውሃ ከመፈለጊያ ገደቡ በታች ቀረ፤ እጅግ አነስተኛው ከባድ ውሃ ግን በጠራና ጸጥ ባለ መስኮት በግልጽ ታየ። (ከምድር ከባቢ አየር በላይ በሕዋ ውስጥ ያው ውሃ በቀላሉ ይታያል፤ JWST ከperihelion በኋላ የኮሚቱን ውሃ በinfrared አገኘ — ስለዚህ የALMA አለመገኘት በምድር አየር ውስጥ ያለፈውን አንድ መስመር ይመለከታል፤ ውሃ አለመኖሩን አይደለም።) ስለዚህ የተለመደ ውሃ መጠን በተዘዋዋሪ መገመት ነበረበት — በዋናነት የmethanol መስመሮች እንዴት እንደተነቃቁ፤ ይህም የmethanol ሞለኩሎች ከውሃ ጋር ስንት ጊዜ እንደሚጋጩ ላይ ይመሠረታል። ይህ እውነተኛ መለኪያ ነው፤ ግን በሞዴል ላይ ይመሠረታል፤ ደራሲዎቹም በግልጽ ይናገራሉ።

ምን አገኙ?

- **ከባድ ውሃ፣ ግን ተራ ውሃ አልታየም።** HDO እና ብዙ የmethanol መስመሮች በግልጽ ታዩ፤ H₂O አልታየም። D/H ሬሾው ለተለመደው ውሃ ምርት መጠን ከፍተኛ ገደብ ላይ ስለሚመሠረት — የውሃ መስመሩ ከጫጫታ በታች ስለቀረ ሆኖ ተብሎ እንደዚያ ተወስዷል — የdeuterium ሬሾው ዝቅተኛ ገደብ ሆኖ ይወጣል፤ አንድ ትክክለኛ ዋጋ አይደለም።
- **ከፍተኛ የdeuterium ብዛት።** በተጠንቀቀው ሁኔታቸው የውሃ D/H ሬሾ ከ 6.6×10^{-3} በላይ ነው — ከምድር ውቅያኖሶች ዋጋ 40 እጥፍ ያህል በላይ፤ ከተለመደ የፀሐይ ሥርዓት ኮሚትም 30 እጥፍ ያህል በላይ። በሁለቱም ግምቶቻቸው፣ 3I/ATLAS እስካሁን ከተለካ የውሃ D/H ሁሉ እጅግ ከፍተኛው ጫፍ ላይ ነው።
- **የዚያ አንድ ሌሊት አጋጣሚ ብቻ አይመስልም።** መለኪያው ከአንድ ጊዜ ነው፤ ግን በአቅራቢያ ያለውን የALMA መረጃ የመጀመሪያ እይታ ከቀን ወደ ቀን ትልቅ ለውጥ አያሳይም፤ እና ከአንድ ወር በላይ በኋላ በ3I/ATLAS ላይ የተደረገ ገለልተኛ የJWST ትንተናም በዚያው አቅጣጫ ይጠቁማል — deuterium የበዛበት ውሃ።

Where 3I/ATLAS's water sits on the deuterium scale

Water D/H ratio – logarithmic scale



የ3I/ATLAS ውሃ በdeuterium መለኪያ ላይ ያለበት ቦታ፡- deuterium በበዛበት ጫፍ፤ ከምድር ውቅያኖሶችና ከመላው የፀሐይ ሥርዓት ኮሚት ሕዝብ በላይ (እዚህ በግምታዊ ክልል ታይቷል)። ቀስቱ ዝቅተኛ ገደብ ያመለክታል — እውነተኛው ዋጋ ይበልጥ ከፍ ሊል ይችላል። ከፍተኛ D/H ሬሾ የቀዝቃዛ የአፈጣጠር ሁኔታ ፍንጭ ነው፤ የቤት አድራሻ አይደለም።

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

ይህ ምን ማለት ይሆናል?

ከፍተኛ የውሃ D/H ሬሾ፣ በጣም በቀዝቀዝ ቦታ (ከ30 K ያህል በታች) የበረደና በኋላ በሙቀት ብዙ ያልተለወጠ ውሃ ፊርማ ነው። ስለዚህ ግልጽ ትርጓሜ፣ የ3I/ATLAS ውሃ ከፀሐይ ሥርዓታችን ኮሚቶች ውሃ ይልቅ በቀዝቃዛና በተረጋጋ ሁኔታ ተፈጥሯል — ስለዚህም የወላጅ ፕላኔታዊ ሥርዓቱ በረዶዎቹን ከእኛ በተለየ መንገድ ገንብቷል።

ደራሲዎቹ ስለሚቀጥለው ደረጃ ይጠነቀቃሉ፤ እኛም እንዲሁ ልንሆን ይገባል። ይህን ያህል deuterium ያለበት ውሃ

ለማግኘት ሁለት መንገዶች አሉ፤ ይህ መለኪያም ሊለያቸው አይችልም፤ ውሃው ከሥርዓቱ ቀዝቃዛ የትውልድ ደመና ብዛቱን ወርሶ ሊሆን ይችላል፤ ወይም ኮሜቱ በቀዝቃዛ ውጫዊ ዲስክ ውስጥ ሲፈጠር በኋላ ሊወሰን ይችላል። በሁለቱም መንገድ ዋናው መደምደሚያ ይቀራል — 3I/ATLASን የቀረጹት ሁኔታዎች ኮሜቶቻችንን የቀረጹት አልነበሩም — ለምን የሚለው ግን ክፍት ነው።

ይህ እንግዲህ ማንም ከሌላ ፕላኔታዊ ሥርዓት የመጣ ቁስ የውሃ አፈጣጠር አሻራን ያነበበበት፤ ከእኛም እንደማይመሳሰል ያገኘበት የመጀመሪያ ጊዜ ነው።

ይህ የማያረጋግጠው

- ስለ ሕይወት፣ ቴክኖሎጂ ወይም ዓላማ ምንም አይናገርም። የተሠራ “ነገር” የለም፤ “ከኮከቦች መካከል” የሚለው መንገድን ይገልጻል፤ የአፈጣጠር ታሪክን አይደለም። ይህ የውሃ ኬሚስትሪ መለኪያ ነው።
- ትክክለኛ D/H ዋጋ አይደለም። ዝቅተኛ ገደብ ነው፤ የሚመለከተው ውሃም በቀጥታ አልተገኘም — ብዛቱ የተገመተው methanol ከሚባል ሌላ ሞለኪውል መነቃቃት፤ ውሃ ዋናው የመጋጨት አጋር ነው በሚል ግምት ነው።
- 3I/ATLAS የት እንደተወለደ አያሳይም። የወላጅ ኮከቡ በእርግጠኝነት ሊለይ አይችልም፤ ከፍተኛ D/H ሬሾም የሁኔታ ፍንጭ ነው፤ የቤት አድራሻ አይደለም።
- ውሃው deuterium ለምን እንደበዛበት አይፈታም። “ከቀዝቃዛ የትውልድ ደመና የተወረሰ” እና “ዲስክ ሲፈጠር የተወሰነ” ሁለቱም ከመረጃው ጋር ይስማማሉ፤ ጽሑፉ አንዱን አይመርጥም።
- በአንድ ጊዜ የተለካ አንድ ነገር ነው። የሚደግፈው መረጃ ያበረታታል፤ ግን ረጅም ጊዜ መለኪያ አይደለም።

ማስረጃው ምን ያህል ጠንካራ ነው?

ሁለት ነገሮች በተለየ ሊመዘኑ ይገባል፡- የውጤቱ አቅጣጫ እና ትክክለኛው ቁጥር።

- አቅጣጫው ጠንካራ ነው። የ3I/ATLAS ውሃ deuterium በግልጽ እንደበዛበት የተጠንቀቀ ዝቅተኛ ገደብ ነው፤ ከመላው የፀሐይ ሥርዓት ኮሜት ሕዝብ በላይ ነው፤ እና በገለልተኛ JWST ትንተና ይደገፋል። ይህ ክፍል ደካማ አይደለም።
- ቁጥሩ በሞዴል ሰንሰለት ላይ ይመሠረታል። H_2O ስላልተገኘ፤ የውሃ ብዛት — እና ስለዚህ D/H ሬሾ — ከmethanol መነቃቃት ውሃን በተዘዋዋሪ በመገመት ላይ ይደገፋል። ይህ ውሃ በcoma ውስጥ ዋናው የመጋጨት አጋር ነው ብሎ ይገምታል (በperihelion አቅራቢያ ምክንያታዊ ነው፤ የ CO_2 አስተዋፅዖ ግን ሊገለል አይችልም)፤ እና ደራሲዎቹ በደንብ እንዳልተወሰኑ የሚቀበሏቸውን ግምታዊ የግጭት መጠኖች ይጠቀማል። ይህን ሁሉ ግልጽ አድርገዋል፤ ውጤቱንም እንደ መለኪያ ሳይሆን እንደ ገደብ ሆኖ ብለው ያቀርባሉ።
- ትርጓሜው ጥሩ መሠረት አለው ግን ብቸኛ አይደለም። ቀዝቃዛ አፈጣጠር ለከፍተኛ D/H የተፈጥሮ ማብራሪያ ነው፤ ቅዝቃዜው የተወረሰ ወይም በኋላ የተፈጠረ መሆኑ አልተፈታም፤ የወላጅ ሥርዓቱም አይታወቅም።

በአጭሩ፡- ውሃው በብርድ እንደተፈጠረ ጠንካራ መሠረት አለው፤ ምን ያህል ቀዝቃዛ እንደነበርና ለምን እንደሆነ ግን በታማኝነት ክፍት ነው።

ለምን አስፈላጊ ነው?

ለአሥርተ ዓመታት፣ የምድር ውሃ ከየት እንደመጣ — እና በሚፈጠሩ ፕላኔታዊ ሥርዓቶች የውሃን deuterium አሻራ ምን እንደሚወስን — የሚለው ጥያቄ ሙሉ በሙሉ በፀሐይ ሥርዓታችን ውስጥ በተደረጉ መለኪያዎች ተመልሷል። ይህ ስንጠረዥ በሌላ ኮከብ ዙሪያ እንደተፈጠረ የተረጋገጠ ቁስ እንዲያካትት የተስፋፋበት የመጀመሪያ ጊዜ ነው።

የሚሰጠው መልስ “ሁሉም ቦታ እንደ ቤት ነው” አይደለም። ተቃራኒው ነው፤ ሌላ ሥርዓት ኮሚቶችን ፈጽሞ ያልያዙትን አሻራ ለማስቀመጥ በቂ ቀዝቃዛ በሆነ ሁኔታ በረዶዎቹን ሊያኖር ይችላል። ይህ ለአንድ ትልቅና የተረጋጋ ሐሳብ ትንሽ ግን ግልጽ ማስረጃ ነው፤ ፕላኔቶችን የሚገነቡ ጠጣር ነገሮች ኬሚስትሪና ታሪክ ከኮከብ ወደ ኮከብ ሊለያይ ይችላል። ይህም በብርሃን ዓመታት የተላከ መንኮራኩር አልመጣም፤ የሌላ ሥርዓትን የጠፋ ቁራጭ ሲያልፍ በመያዝና ከመጥፋቱ በፊት ውሃውን በማንበብ መጣ።

ግልጽ ማጠቃለያ

3I/ATLAS ሦስተኛው የታወቀ ከኮከቦች መካከል የመጣ ነገርና ሁለተኛው ንቁ የኮከቦች መካከል ኮሜት ነው — በእኛ ሥርዓት አንድ ጊዜ የሚያልፍ የሌላ ፕላኔታዊ ሥርዓት ቁራጭ። ኮሜቱ ወደ ፀሐይ በጣም በቀረበበት ጊዜ ALMAን በመጠቀም፣ የሥነ ፈለክ ባለሙያዎች በcomaው ውስጥ ከባድ ውሃ (HDO) እና methanol አገኙ፤ ተለመደ ውሃ ግን አላገኙም፤ ከዚህም የውሃውን deuterium-to-hydrogen ሬሾ ገመቱ። በdeuterium በጣም የበለፀገ ነው — ከ 6.6×10^{-3} በላይ ዝቅተኛ ገደብ፤ ከምድር ውቅያኖሶች 40 እጥፍ ያህል፤ ከተለመደ የፀሐይ ሥርዓት ኮሜትም 30 እጥፍ ያህል — ይህም ከፀሐይ ሥርዓት ኮሚቶች ይልቅ በቀዝቃዛና በሙቀት ባልተለወጠ ሁኔታ የተፈጠረ ውሃን ይጠቁማል። ቁጥሩ በሞዴል በተዘዋዋሪ የተገኘ ዝቅተኛ ገደብ ነው፤ ቀጥተኛ መለኪያ አይደለም፤ ብዛቱ ከቀዝቃዛ የትውልድ ደመና እንደተወረሰ ወይም በቀዝቃዛ ዲስክ ውስጥ በኋላ እንደተወሰነ፤ ወይም ኮሜቱ ከየት እንደመጣ መናገር አይችልም። እንዲሁም ከሌላ ኮከብ የመጣ ውሃ የዚህ ልዩ የኬሚስትሪ አሻራ የመጀመሪያ ንባብ ነው — አሻራውም ከእኛ አይመሳሰልም።

ከማጋነን ነፃ ምርመራ

ጽሑፉ የሚያሳየው: በperihelion አቅራቢያ በALMA ከታየው የኮከቦች መካከል ኮሜት 3I/ATLAS፣ የውሃው D/H ሬሾ $> 6.6 \times 10^{-3}$ ዝቅተኛ ገደብ (በተጠንቀቀ ሁኔታ) — ከምድር ውቅያኖሶች $40 \times$ ያህል፤ ከተለመደ የፀሐይ ሥርዓት ኮሜትም $30 \times$ ያህል — ይህም ከፀሐይ ሥርዓት ኮሚቶች ይልቅ በቀዝቃዛና በሙቀት ባልተለወጠ ሁኔታ የተፈጠረ ውሃን ያመለክታል። ገለልተኛ JWST ትንተናም አቅጣጫውን ይደግፋል።

ሊሆን የሚችለው ግን ያልተረጋገጠው: ብዛቱ ከቀዝቃዛ prestellar ደመና በቀጥታ የተወረሰ መሆኑ፣ ወይም ኮሜቱ በቀዝቃዛ protoplanetary ዲስክ ውስጥ ሲፈጠር የተወሰነ መሆኑ። ሁለቱም ይስማማሉ፤ መረጃው አይለያቸውም።

የማያሳየው: ስለ ሕይወት፣ ቴክኖሎጂ ወይም ሰው ሠራሽ አመጣጥ ማንኛውንም ነገር፤ ትክክለኛ D/H ዋጋ (ዝቅተኛ ገደብ ነው)፤ የወላጅ ኮከብ ማንነት ወይም ቦታ፤ ለከፍተኛው D/H የተወሰነ ምክንያት፤ ወይም የአንድ ጊዜው ውጤት በcoma ለውጥ እንደማይነካ።

ዋና ገደቦች: H_2O በቀጥታ አልተገኘም፤ ስለዚህ የውሃ ብዛት — እና D/H ሬሾ — ውሃ ዋናው የመጋጨት አጋር ነው በሚልና ደራሲዎቹ በደንብ እንዳልተወሰኑ በሚሉት ግምታዊ የግጭት መጠኖች ላይ ተመሥርቶ፤ ከmethanol መነቃቃት በተዘዋዋሪ ተገምቷል፤ ውጤቱ በሞዴል የሚወሰን የአንድ ጊዜ ገደብ ነው፤ የወላጅ ሥርዓቱ አይታወቅም።

አጠቃላይ አንባቢ ምን ያህል መተማመን ይኖርበታል? የ3I/ATLAS ውሃ በእውነት deuterium እንደበዛበትና ከኮሜቶችን ይልቅ በቀዝቃዛ ሁኔታ እንደተፈጠረ፤ እንዲሁም ይህ ስለ ሕዋ ፍጥረታት ምንም እንደማይናገር ከፍተኛ መተማመን። በሞዴል ላይ የሚመሠረት ዝቅተኛ ገደብ ስለሆነው የብዛት ትክክለኛ መጠን መካከለኛ መተማመን። ክፍት ስለሆኑት የተወሰነ ምክንያትና የትውልድ ቦታ ዝቅተኛ መተማመን። ተገቢው አቋም፡- ከሌላ ኮከብ ሥርዓት ለመጣ የኬሚስትሪ መልዕክት የተረጋጋ አድናቆት — ምስጢር ወይም የሕዋ መርከብ አይደለም።

ምንጮች

Nature Astronomy (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41550-026-02850-5>

arXiv 2603.07026

<https://arxiv.org/abs/2603.07026>

Independent JWST corroboration (Cordiner et al., arXiv 2603.06911)

<https://arxiv.org/abs/2603.06911>

ALMA data archive (project 2025.A.00002.T)

<https://almascience.nrao.edu/aq/>