

Lente Gábor és Ősz Katalin

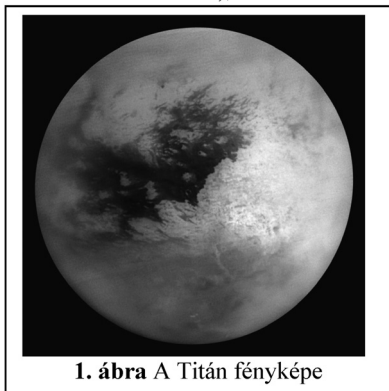
Űrszondabaleset a Titán egyik metántavában

Készült a Kozmikus Baleseteket Kivizsgáló Intézet (KOBALKIVI) 2222. február 22-én kiadott jelentése alapján

1. Háttérinformációk

1.1. A Titán

A Titán a Szaturnusz legnagyobb holdja, a Cassini űrszonda által 2005-ben készített fényképe az 1. ábrán látható. A földlakók számára létezését Christiaan Huygens (1629–1695) holland tudós fedezte fel 1655. március 25-én. A Föld felszínéről szabad szemmel nem, de már kis távcsővel is látható a Szaturnusz mellett, helyét naponta változtató fénypontként. Átmérője 5150 km (a Föld átmérőjének 40%-a), tömege $1,310^{23}$ kg (a Föld tömegének 2%-a), a Szaturnusztól mért átlagos távolsága 1,2 millió km, Szaturnusz körüli keringési ideje pedig 382 óra. A Naprendszer második legnagyobb méretű holdja, egyedül a Jupiter körül keringő Ganümedesz nagyobb nála.



1. ábra A Titán fényképe

A XX. században fedezték fel, hogy a Titánon nagy mennyiségű szénhidrogén, főleg metán és etán található. A Titán hőmérsékleti és nyomásviszonyai alapján már ekkor is sejtették, hogy ezek jelentős része folyékony halmazállapotban lehet jelen a felszínen. 2010-ben végzett radarmérések arra utaltak, hogy a szénhidrogénekből álló tavak az

évszakoktól függően elpárologhatnak és újra lecsapódhatnak, így a Titán féltékéi között látszólagos vándorlást végeznek. Ugyanezen mérések azt mutatták, hogy az egyik legnagyobb metántó, amelynek neve Ontario, nagyon sekély: átlagos mélysége 0,4 – 3,2 m, legmélyebb pontja pedig mindössze 2,9 – 7,4 m lehet. Így a tó sokkal nagyobb területű, s ugyanakkor sekélyebb, mint a Balaton. Az északi féltéken található Ligeia nevű tó mélyebb volt, mint a radarral maximálisan mérhető 8 m.

A Titán az egyetlen hold a Naprendszerben, amelynek jelentős légköre van; ez főként nitrogénből áll, kisebb mennyiségben pedig szénhidrogéneket, elsősorban metánt tartalmaz. Folyékony víz egyensúlyban semmilyen nyomáson nem létezhet $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérsékleten. Erről a víz fázisdiagramja tanúskodik, amely a Középszolai Kémiai Lapok 2008. évi 1. számában publikált, *Jég-kilenc a Macskabölcsőben* című írásban is megtalálható. Folyékony víz így a Titánon sem lehet, mert a hőmérséklet rajta mindig jóval kisebb $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, de szilárdan, jég formájában a hold kőzeteinek egyik fő alkotóanyaga. A nagyon alacsony hőmérséklet miatt a légkörben is csak igen csekély mennyiségű víz lehet.

1.2. A Titán szirénjei

Már a XXI. század elején gondoltak arra, hogy a Titán felszínén lévő metántavakban – a Föld tengereivel hasonlóan – létezhetnek élő szervezetek. Az ilyen élőlények oxigén helyett hidrogént lélegeznének be, glükóz helyett acetilént használnának energiaforrásként, s szén-dioxid helyett metánt lélegeznének ki. (A szén-dioxid a Titán felszínén uralkodó körülmények között egyébként is szilárd anyag.) A Földön is ismeretesek úgynevezett metanogén baktériumok, amelyek ugyan vízben élnek, de folyékony metánban a bennük lévő szerves molekulákat nem kellene a hidrolízistől védeni. 2010-ben megállapították, hogy a Titán légkörének magasabb régióiban sokkal több hidrogén van, mint a felszín közelében; ebből az is következhet, hogy a felszínen valamilyen folyamatok elfogyasztják a hidrogént. Hasonlóképpen az acetilén koncentrációját is váratlanul kicsinek mérték a felszínen. Azonban az még nyitott kérdés, hogy az acetilén és a hidrogén reakcióját milyen anyaggal lehet katalizálni 95 K körüli hőmérsékleten.

A Titánon élő intelligens lényekkel a XXIII. század első évtizedében sikerült kapcsolatot teremteni. Kurt Vonnegut (1922–2007) amerikai író 1959-ben kiadott regényének címét követve a lények elterjedt neve a „Titán szirénjei” lett. A velük való kapcsolat kizárólag rádiókommunikációra korlátozódik, testük felépítéséről vagy biokémiájáról semmilyen adat nincsen. A Szaturnusz körül keringő emberi űrszondák megfigyelései alapján biztosra vehető, hogy 2211-ben a Mimasz megabaktériumainak invázióját a Titán lényei elemi erővel verték vissza. A hódító flotta megmaradt űrhajóinak a javítását emberi támaszpontonok végezték, és a rajtuk található sérülésnyomok alapján legalább négy különböző típusú fegyver használatára lehetett következtetni, amelyek közül a kaontorpedónak elnevezett robbanó eszköz volt a leghatásosabb. Politikai elemzők ezen háború és a Titán szirénjeivel folytatott, egyébként nem ellenséges üzenetváltások alapján biztosra veszik, hogy a lények tisztában vannak azzal,

hogy a holdjuk felszínén lévő szénhidrogén-készletek igen értékesek az emberiség számára, és akár fegyveres konfliktus vállalása árán is készek távol tartani minden nem kívánatos beavatkozást.

2. A baleset

A Szaturnusz-Titán-Rádiószonda (SzaTiR-112358) 2221. június 22-én sikeresen leszállt a Titán felszínére. Elsődleges feladata tudományos megfigyelés volt ugyan, de politikai elemzők már a küldetés tervezésekor figyelmeztettek arra, hogy a Titán szirénjei a leszállást minden bizonnyal újabb hódítási kísérletnek tartják majd. A szonda a biztonságos landolást megerősítő jelzések leadása után még 5 perc 28 másodpercig a terveknek megfelelően működött, majd hirtelen beszüntette rádióadását. Röviddel ez után a Titán szirénjei rádióüzenetben tudatták, hogy a szonda egy folyékony metánnal teli tóban úszva jéghegynek ütközött és működésképtelenné vált. A szondával történt tisztázására az egyetlen lehetőség a helyszínen történő személyes vizsgálat volt.

3. Pirx kapitány jelentésének kivonata

Pirx kapitány akkor még csak elképzelt kalandjairól Stanislaw Lem (1921–2006) lengyel író 1966 és 1968 között írta azon műveit, amelyek a XX. század végére kötelező olvasmányok lettek Lengyelország középiskolaiban. A valódi Pirx kapitány a baleset idején űrhajójával és tizennyolc főnyi legénységgel éppen a Neptunusz felé repült kereskedelmi céllal. Parancsot kapott a haladéktalan pályamódosításra és a szonda megkeresésére a Titánon. Együttal felhívták a figyelmét, hogy szigorúan kerüljön minden olyan tevékenységet, amelyet a Titán szirénjei ellenségesnek tarthatnak.

Pirx kapitány bonyolult és kellően előkészítetlen, de végül is sikeres űrmanőverek sorozata után 2221. december 24-én pályára állt a Titán körül. Űrhajója távérzékelők segítségével a tervezett leszállási hely közvetlen közelében hamarosan meg is találta az űrszonda maradványait. Ezután egyszemélyes űrkabinjában leszállt a felszínre a szonda mellett. Felszerelésében tudományos eszközök alig voltak, ezért csak a hőmérsékletet (128 K) és a légnyomást (154 kPa) tudta megmérni. Leírásában a szonda megtalálási helyét a Marson lévő kiszáradt tövidékhez hasonlította, a környéken ugyanakkor nem találta tényleges tavak nyomát. A sérült űrszondát űrkabinjában visszavitte az űrhajó fedélzetére. Az egyetlen értelmes adat, amit technikusának sikerült kinyernie a szonda memóriájából, a közvetlenül a leszállás után rögzített környezeti hőmérséklet (94 K) és nyomás (142 kPa) volt. A légénység egyik tagja korábban részt vett a mimaszi megabaktériumok flottájának szervizelésében, ő a szonda sérüléseit egy kaontorpedó becsapódásának

tulajdonította. A szonda megtalálási helyétől távol, a Titán téli oldalán metántavakat azonosítottak. Pirx kapitány néhány nappal később már folytatta is útját eredeti úticélja felé.

4. Kísérleti leírás

Noha a metán tulajdonságai jól ismertek a szakirodalomból, a KOBALKIVI vezetői arra a belátásra jutottak, hogy ilyen súlyú politikai következményekkel járó tudományos kérdésben csak közvetlen kísérleti adatok alapján mondhatnak megalapozott véleményt. Az első kísérletsorban speciálisan kiképzett, zárt tartályban melegítettek 64,0 g tiszta metánt, s közben nagy pontossággal mérték a nyomást. A tartály teljes térfogata 2800 cm³ volt, s nem változott a melegítés hatására. A kiindulási hőmérsékletet 80,00 K, a fűtési sebesség 10,0 J/s-os, állandó érték volt. A melegítés közben regisztrált adatok a következők:

t (s)	0	100	200	207	350	578	700	1000
T (K)	80,00	85,41	90,32	90,67	90,67	90,67	95,26	105,17
p (Pa)	2615	5922	11420	11702	11702	11702	20641	57186

t (s)	2000	3000	4000	5000	5212	5250	5300
T (K)	127,77	142,53	153,44	161,68	164,40	167,51	171,31
p (Pa)	322674	742101	1238641	1741874	1949783	1986668	2031736

Egy másik sorozatban ugyanezt az eszköz használva megismételték a kísérletet úgy, hogy 64,0 g metán mellé még 1,471 g héliumot is a tartályba zártak. Az adatok:

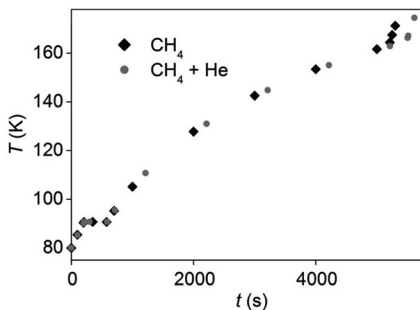
t (s)	0	100	200	213	300	585	714	1214
T (K)	80,00	85,29	90,10	90,74	90,74	90,74	95,49	110,74
p (Pa)	93865	103092	113840	115162	115757	116242	131718	224309

t (s)	2214	3214	4214	5214	5504	5514	5614
T (K)	131,00	144,78	155,1	162,89	166,30	167,20	174,54
p (Pa)	552137	1004774	1512705	2006827	2156867	2168540	2263738

Az adatok rögzítése során a tartály vizuális megfigyelésére nem volt lehetőség.

5. A kísérleti adatok részletes elemzése

A kísérleti adatok alapján megszerkeszthető két melegedési görbe (vagyis az idő függvényében a hőmérséklet) a 2. ábrán látható. Az x tengely az állandó fűtési sebesség miatt 10-zel való szorzással akár energiává is átalakítható.



2. ábra A kísérleti pontok alapján rajzolt melegedési görbék

Mindkét melegedési görbén két jellegzetes pont azonosítható. Az első ilyen pont az, ahol a hőmérséklet időben állandóvá válik néhány percre (90,67 K az első görbén, 90,74 K a másodikon). Ilyen körülmények között a hőkölés ellenére sem változik a hőmérséklet, márpedig ez csak fázisátmenet következménye lehet: ezen a hőmérsékleten a szilárd állapotban lévő metán megolvad. A másik jellegzetes pont a nagy hőmérsékleten (164,40 K illetve 166,30 K) jelentkező töréspont, amely után a hőmérséklet-növekedés sokkal rohamosabbá válik. Eddig a pontig a tartályban folyékony és gázhalmazállapotú metán is jelen van, utána viszont már csak a gázfázis. Erről úgy is meg lehet győződni, hogy a tökéletes gázok állapotegyenletével kiszámoljuk az adott teljes térfogathoz, nyomáshoz és hőmérséklethez tartozó anyagmennyiséget. Az első kísérlet utolsó pontjára ez a következő:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2031736 \text{ Pa} \cdot 0,002800 \text{ m}^3}{8,31441 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 171,31 \text{ K}} = 3,994 \text{ mol}$$

Ez gyakorlatilag megegyezik a metánra a 64,0 g tömegből és 16,04 g/mol moláris tömegből számolható anyagmennyiséggel. Hasonlóan a második kísérlet utolsó pontjából:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2263738 \text{ Pa} \cdot 0,002800 \text{ m}^3}{8,31441 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 174,54 \text{ K}} = 4,368 \text{ mol}$$

Ez a 64,0 g metán és az 1,471 g hélium összesített anyagmennyiségével egyezik meg.

A töréspontot 164,40 K, illetve 166,30 K hőmérsékleteken az okozza, hogy utána már nincs folyadékfázis. A hőmérséklet-növekedés azért válik sokkal gyorsabbá ezután, mert a folyadék párolgása, amely viszonylag nagy hőt igényel, többé már nem játszódik le, vagyis csak a gáz (illetve a második esetben a gázkeverék) melegszik. A szilárd anyag és a folyadék párolgása folyamatos a kísérlet során, de a folyadék forrása egyik esetben sem következik be, mert ez a jelenség csak nyílt rendszerekben, állandó külső nyomás fenntartása esetén lehetséges. Az első kísérletben a mért nyomásértékek 164,40 K alatt a szilárd vagy folyékony metán gőznyomásával egyenlőek. Az első kísérletben mért olvadáspont és az itt tapasztalt gőznyomás egyúttal a metán hármaspontját is definiálják, vagyis azt az egyedi nyomás- és hőmérsékletértéket, ahol a metán egyszerre három fázisban (szilárd, folyadék és gáz) jelen van egyensúlyban. A metán kritikus pontjának állandói nem becsülhetők meg az adatokból, csak annyi állapítható meg, hogy a kritikus hőmérséklet 164,40 K, a kritikus nyomás 1,95 MPa, a kritikus sűrűség pedig $64,0 \text{ g} / 2800 \text{ cm}^3 = 0,023 \text{ g/cm}^3$ -nél nagyobb. Ezek az alsó becslések nem mondanak ellent az irodalmi adatoknak, amelyek szerint a metán kritikus hőmérséklete 190,56 K, kritikus nyomása 4,60 MPa, kritikus sűrűsége pedig $0,16 \text{ g/cm}^3$.

A metán az első kísérletben legalább 371, a második kísérletben 372 s-ig olvad, ennek alapján az olvadáshő a gáztérben lévő metán mennyiségének elhanyagolásával a következőképp becsülhető meg:

$$Q_{olv} = \frac{371 \text{ s} \cdot 10 \text{ J s}^{-1}}{4,0 \text{ mol}} = 0,93 \text{ kJ mol}^{-1}$$

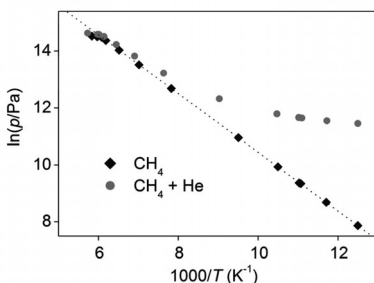
Ez az érték valamivel kisebb lehet, mint a tényleges olvadáshő, mert a számítás az olvadáshoz szükséges hőt alulbecsli (lehet, hogy kicsit hosszabb ideig tartott az olvadás az adatokban állandó hőmérsékletűként jelzett szakasznál), az anyagmennyiséget viszont felülbecsli (nem a metán teljes anyagmennyisége olvad meg, mert egy része gázfázisban van).

A Clausius–Clapeyron-egyenlet egyik alakja szerint egy anyag gőznyomása (p) a következőképpen változik a hőmérséklettel (T):

$$\ln \frac{p}{p_{\text{hnm}}} = -\frac{Q_{\text{pár}}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{hnm}}} \right)$$

A képletben $Q_{\text{pár}}$ a párolgáshőt, p_{hnm} a hármasponti nyomást, T_{hnm} a hármasponti hőmérsékletet, R pedig az egyetemes gázállandót jelenti. Így a hőmérséklet reciprokának függvényében ábrázolva a gőznyomás logaritmusát, egyenest

kapunk, amelynek meredeksége a párolgáshő és az egytetemes gázállandó hányadosának ellentettje. Ezt az ábrázolást a 3. ábra mutatja be.



3. ábra A metán gőznyomásának természetes alapú logaritmus a hőmérséklet reciprokának függvényében

Az első kísérletsor adatai igen jól illeszkednek egy egyenesre abban a tartományban, ahol a mért nyomás valóban egyenlő a gőznyomással (80,00–164,40 K). 164,40 K fölött már nem a metán gőznyomását méri a berendezés, ezért eltérés tapasztalható. A 3. ábrán látható, illetett egyenes meredeksége 1032 K, így a metán párolgáshője a gázállandóval való szorzás után $8,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ -nak becsülhető. A második kísérletben hasonló következtetéseket nem lehet levonni, mert ott a hélium is befolyásolja a nyomást.

Egy másik fontos következtetést viszont le lehet vonni a hélium jelenlétében mért adatokból. Az első kísérletben olvadás közben a nyomás állandó, hiszen ez egyenlő a metán gőznyomásával az adott hőmérsékleten, függetlenül a gőztér térfogatától. A második esetben a nyomás csekély mértékben növekszik olvadás közben. A metán parciális nyomása itt sem változhat az állandó hőmérséklet miatt, a nyomásnövekedést így a hélium parciális nyomásának a növekedése okozza. Ez viszont állandó hőmérsékleten csak akkor növekedhet, ha a gáztér térfogata csökken. A gáztér térfogata csak úgy csökkenhet, ha a kondenzált fázis térfogata közben növekszik. Ez azt jelenti, hogy a metán olvadás közben kitágul, vagyis a szilárd metán sűrűsége nagyobb, mint a folyékony metáné ugyanolyan hőmérsékleten. A kísérletekből a két sűrűség meg is becsülhető: először a 3. ábrán bemutatott adatokból és a Clausius–Clapeyron-egyenletből kiszámítjuk a metán gőznyomását 90,74 K hőmérsékleten, ez 11805 Pa-nak adódik. A második kísérletben tehát ennyi a metán parciális nyomása olvadás közben. Így a hélium parciális nyomása a folyamat elején $115162 - 11805 = 103357 \text{ Pa}$, a végén pedig $116242 - 11805 = 104437 \text{ Pa}$. A hélium anyagmennyisége a bemért tömegből

kiszámolható ($1,471 \text{ g} / 4,003 \text{ g mol}^{-1} = 0,3675 \text{ mol}$): erről feltételezhető, hogy teljes egészében gázfázisban van, mert a hélium kritikus hőmérséklete minden anyag közül a legalacsonyabb ($5,2 \text{ K}$), oldhatósága folyékony metánban pedig az amerikai űrkutatási ügynökség, a NASA adatai szerint 90 K hőmérsékleten és $100\,000 \text{ Pa}$ nyomáson kisebb $0,01$ mólszázaléknál. A tökéletes gázokra vonatkozó állapotegyenlet alapján kiszámolható a gázfázis térfogata:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,3675 \text{ mol} \cdot 8,31441 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 90,74 \text{ K}}{103357 \text{ Pa}} = 0,002683 \text{ m}^3$$

Ugyanilyen számolás a gázfázis térfogatát az olvadás végén $0,002655 \text{ m}^3$ -nek adja. A tartály teljes térfogata 2800 cm^3 , ezért a kondenzált fázis térfogata az olvadás elején $2800 - 2683 = 127 \text{ cm}^3$, az olvadás végén pedig $2800 - 2655 = 145 \text{ cm}^3$. Az olvadás elején a metán parciális nyomásából és a gázfázis térfogatából a gázhalmazállapotú metán anyagmennyiségére $0,04198 \text{ mol}$ számolható, a az olvadás végén ez $0,04154 \text{ mol}$. A szilárd metán sűrűsége tehát:

$$\rho_{\text{szil}} = \frac{m}{V} = \frac{64,0 \text{ g} - 0,0420 \text{ mol} \cdot 16,0 \text{ g mol}^{-1}}{127 \text{ cm}^3} = 0,499 \text{ g cm}^{-3}$$

Hasonló számolással a folyékony metán sűrűsége $90,74 \text{ K}$ hőmérsékleten:

$$\rho_{\text{foly}} = \frac{m}{V} = \frac{64,0 \text{ g} - 0,0415 \text{ mol} \cdot 16,0 \text{ g mol}^{-1}}{145 \text{ cm}^3} = 0,437 \text{ g cm}^{-3}$$

Ugyanezzel a gondolatmenettel a folyékony metán sűrűsége $95,49 \text{ K}$ -en $0,370 \text{ g cm}^{-3}$ -nek becsülhető. Ilyen típusú számítások az első kísérlet sor adatai alapján nem végezhetőek, mert ott nem lehetséges a két külön fázisban lévő metán anyagmennyiségét megbecsülni a kísérleti adatokból.

További következtetések vonhatók le abból a tényből, hogy a második kísérletben a hélium jelenléte miatt uralkodó nagyobb nyomás a metán olvadáspontjának csekély mértékű növekedését okozta az első kísérlethez képest. Az ilyen, külső nyomás hatására bekövetkező olvadáspont-növekedést a Clapeyron-egyenlet írja le:

$$\frac{\Delta T_{\text{olv}}}{\Delta p} = \frac{T_{\text{olv}} \Delta V_{\text{m,olv}}}{Q_{\text{olv}}}$$

Az egyenletben ΔT_{olv} az olvadáspontban mérhető változás Δp nyomáskülönbség hatására, T_{olv} a tiszta metán olvadáspontja, Q_{olv} a metán olvadáshője, $\Delta V_{\text{m,olv}}$ pedig az olvadást kísérő móltérfogat-változás. A nyomás növelésének hatására

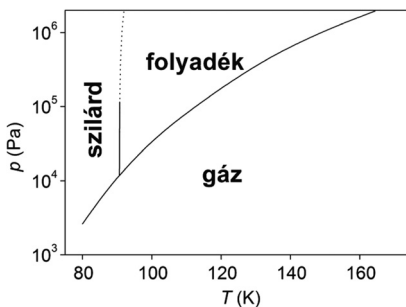
növekedett az olvadáspont, T_{olv} és Q_{olv} pedig pozitív értékek, ezért $V_{m,olv}$ -nak is pozitívnak kell lennie, vagyis 1 mol folyékony metán nagyobb térfogatot foglal el, mint 1 mol szilárd metán. Ez kvalitatívan összhangban van a két fázis sűrűségeire korábban kiszámolt értékekkel. Felhasználva a korábban már meghatározott mennyiségeket:

$$\Delta V_{m,olv} = \frac{\Delta T_{olv}}{\Delta p} \frac{Q_{olv}}{T_{olv}} = \frac{0,07 \text{ K} \cdot 930 \text{ J mol}^{-1}}{(115162 - 11702) \text{ Pa} \cdot 90,67 \text{ K}} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$$

A két fázis már kiszámolt sűrűségéből a szilárd metán móltérfogata $16,0 \text{ g mol}^{-1} / 0,499 \text{ g cm}^3 = 32,1 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$, a folyékony metáné $16,0 \text{ g mol}^{-1} / 0,437 \text{ g cm}^3 = 36,6 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. A két érték különbsége $4,5 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$, amely egy kicsit kisebb, mint az olvadáspont-növekedésből ugyannerre a mennyiségre számolt érték ($7 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$). Az eltérés fő oka az lehet, hogy a Clapeyron-egyenletet csak olyan közelítő formájában lehetett használni, ahol meglehetősen nagy nyomásváltozás szerepel.

6. A balesetre levonható következtetések

A kísérleti adatok alapján felrajzolható a metán fázisdiagramjának egy része, ez látható a 4. ábrán. A fázisdiagram x tengelyén a hőmérséklet, y tengelyén a nyomás szerepel, s belőle le lehet olvasni azt, hogy meghatározott körülmények között melyik fázis a stabil.



4. ábra A metán fázisdiagramjának egy részlete

A fázisdiagram alapján a következő megállapításokat lehet tenni:

1. A Pirx kapitány által mért nyomáson és hőmérsékleten (128 K és 154 kPa) a metán gázfázisban stabil. Így ha korábban volt is tó a helyen, az a kapitány odaérkezéséig elpárologhatott.

2. A szonda adataiból kinyert nyomáson és hőmérsékleten (94 K és 142 kPa, bár ezek helyessége később kifejtett okok miatt kétségbe vonható) a metán folyékony állapotban stabil. Ilyen körülmények között lehetett metántó a szonda leszállási helyén. Szilárd metán ekkor nem létezhetett egyensúlyban. Azonban ismert az a jelenség, hogy a földi tengerekben hosszú ideig előfordulnak úszó jéghegyek fagyponthoz közeli hőmérsékleteken is. A baleset idejében a Titánon a hőmérséklet kb. 3 K-nel volt csak magasabb, mint a metán olvadáspontja. Ezért nem lehetetlen, hogy még olvadáfélben lévő metánjég is volt a tóban. Ennek valószínűsége azonban nem nagy, mert a szilárd metán olvadáshője elég kicsi, tehát a nem egyensúlyi állapot csak rövid ideig állhat fenn.

3. A folyékony metán sűrűsége 94 K-en kisebb, mint 90,67 K-en ($0,437 \text{ g cm}^{-3}$), de nagyobb, mint 95,49 K-en ($0,370 \text{ g cm}^{-3}$). Az űrszonda átlagos sűrűsége $0,34 \text{ g cm}^{-3}$, ezért valóban úszhatott a metántóban.

4. Mind a szilárd metán, mind a vízjég sűrűsége nagyobb, mint a folyékony metáné, ezért metánból vagy vízből álló jégtömb semmiképpen nem úszhat egy metántó felszínén.

A Titán szirénjei által adott magyarázat tehát nem hiteles. Valószínű, hogy a szondát a leszállást követően kaontorpedóval elpusztították, s utána találták ki a történetet a jéghegygel való ütközésről, amelyet arra alapoztak, hogy az emberek számára egy folyadékban úszó jéghegy látványa szokásosnak számít. Ezt a jég azon anomális tulajdonsága okozza, hogy olvadáskor csökken a térfogata. A Titán szirénjei bizonyíthatóan tudnak a víz ezen sajátosságáról, mert a közelmúltban a Földkultúra-terjesztési program keretében az 1997-ben készült, Oscar-díjas, Titanic című filmet is megkapták számukra érthetővé tett formában.

Végül azt is észrevételezni kell, hogy a szondából kinyert hőmérsékleti és nyomásadatok kétségbe vonhatók. A Pirx kapitány által feljegyzett értékek egyértelműen nyári évszakra utalnak, míg a szondából kinyert adatok télre. Egy égitesten az évszakok váltakozását a Naphoz viszonyított helyzet határozza meg. A Titán a Szaturnusszal együtt mozog a Nap körül, a keringés idő 29,4 év. Ezért a Titánon az időjárás nem fordulhat néhány hónap alatt téliből nyáribá. Könnyen elképzelhető, hogy a Titán szirénjei a kitalált történetük alátámasztására ezeket az adatokat meghamisították az alatt a néhány hónap alatt, amíg a szondához háborítatlanul hozzáfértek. Ezt a feltételezést támasztja alá az a tény is, hogy Pirx kapitányt nem érte támadás a Titán felszínén, noha öt és fél percnél jóval hosszabb ideig tartózkodott ott.