



TEORETISKA
GYMNASIUM

Protoceller

Liv i en förhistorisk värld

Namn: Johanna Zazzi

Gymnasiearbete 100 poäng

Klass: NA22R

Läsår: 2024–2025

Handledare: Amelie Schenström

Abstract

How has life on our planet emerged? The origin of life on Earth remains one of the most fundamental questions in science. Scientists have conducted numerous experiments to investigate how the first cells formed under early Earth conditions. This study focuses on the theory of the protocells, to gain a deeper understanding of how life originated and whether certain aspects can be recreated experimentally. Specifically, this research investigates the formation of membranes under conditions mimicking those on prehistoric Earth. The experiment utilizes a wet-dry cycle process to test whether spontaneous formation of lipid membranes can occur. In short, lipids were dissolved and evaporated to create a film. The film was then dissolved in a saline buffer solution to see whether the lipids could self-organize a membrane-like structure. Microscopic analysis revealed the presence of small vesicle-like structures. This indicates that early earth conditions were capable of forming biological membranes, potentially serving as the foundation for the emergence of and align with the findings on the Murchison meteorite and the results from the Miller-Urey experiment. Given these results, this study raises the possibility that similar processes could lead to the emergence of life on Mars or other planets with suitable conditions for life.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	3
2. Teoretisk Bakgrund.....	3
2.1 Relevanta Begrepp.....	3
2.2 Vad är protoceller?.....	4
2.3 cyanid, byggstenen till liv.....	5
2.4 Miller-urey experimentet.....	6
2.5 Murchison meteorit.....	7
2.6 Våt-torr cykeln.....	7
2.7 Cynaosulfidiska protometabolismen.....	8
3. Tidigare forskning.....	9
4. Syfte, frågeställningar och hypotes.....	11
5. Metod och material.....	12
5.1 Preparationer.....	12
5.2 Avdunstning.....	13
5.3 Upplösningen.....	14
6. Resultat.....	15
7. Diskussion.....	16
7.1 Diskussion av resultatet.....	16
7.2 Liv på Mars.....	16
7.3 Kolonisera andra planeter.....	17
7.4 Felkällor.....	17
8. Källförteckning.....	18
Bilaga 1.....	19
Bilaga 2.....	20

Bilaga 3.....	20
Bilaga 4.....	21
Bilaga 5.....	21

1. Inledning

I hela människans historia har man försökt att besvara frågan varför vi människor finns. Under de årtusenden mänskligheten har existerat har olika teorier växt fram, både naturvetenskapliga och filosofiska. Strävan efter svaret på denna fråga är något vi jobbar med än idag och än så länge finns det bara teorier. Men vi har kommit närmare svar än vad vi var för 2000 år sedan.

Länge har människan undrat hur vi har fått de första byggstenarna till liv, dvs. aminosyror, lipider och nukleotider. Det forskare har kommit fram till är att cyanid har spelat en mycket viktig roll i skapandet av det. Cyanid är ett gift som kan döda en människa på bara ett par minuter men det är även en molekyl som nästan kan reagera med allt. Detta gör att den kan ha spelat en stor roll i förhistorisk kemi då man har hittat många spår av den på förhistoriska jorden. Men de byggstenar till liv man får ut av cyanid kan man skapa den första cellen eller som den kallas protocellen. Detta ger en tydlig beskrivning, rent kemiskt, att det var möjligt för liv att skapas i tidernas begynnelse.

Forskare tror att livet inte bara kommer från en plats exempelvis haven utan att det var ett samarbete mellan olika miljöer då olika förhållanden kan leda till olika resultat. Genom ett experiment som heter Mille-Urey-experimentet bevisade man att för att få aminosyror behöver det vara ett samarbete mellan havet och atmosfären. Detta indikerar att livet inte bara uppstod på en plats utan det är ett samspel mellan olika platser med olika förhållanden som kan ge svaret på livets gåta¹.

2. Teoretisk Bakgrund

2.1 Relevanta Begrepp

Aminosyror - är byggstenar till alla våra proteiner. Den består av en eller flera aminogrunder (-NH₂) samt en eller flera karboxylgrupper (-COOH).²

¹ Magnus Ehingers undervisning, *Hur livet uppstod*, 2024-11-05, <https://ehinger.nu/undervisning/kurser/biologi-1/lektioner/evolution-och-systematik/hur-livet-uppstod.html> [hämtad 2025-01-31]

² NE, *Aminosyror*, u.å. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aminosyror> [2025-01-31]

Aminer- en grupp av organiska ämnen som har en aminogrupp (-NH_2) kopplat till ett kolväte.³

Kondenserade - aggregationstillstånd när gas övergår till en vätska.

Hydrofob- ämnen som inte gillar vatten vilket gör att de ej kan binda sig till vattenmolekyler.

Hydrofil- ämnen som gillar vatten vilket gör att de binder sig till det.

Lipider- en grupp av organiska ämnen exempelvis fetter, oljor och steroider. Fungerar som byggstenar för cellmembranet samt energilagring⁴.

Intermediär- ett stabilt men reaktivt mellansteg i olika kemiska reaktioner⁵.

Nukleotider- byggstenar till DNA och RNA (genetisk information)⁶.

Puriner- är en komponent i DNA och RNA då den ingår i den genetiska arvsmassan⁷.

Pyrimidin- en grupp av organiska molekyler som är en viktig del i DNA och RNA då den är en viktig del av kvävebaserna då den är en del av nukleinsyra⁸.

Polariseras- en molekyl som har ett överskott elektroner än en annan molekyl som har ett underskott vilket underlättar att de kan binda sig till varandra⁹.

2.2 Vad är protoceller?

Protoceller är förstadiet till de celler som finns idag. När liv först skapades bildades var de första cellerna från icke levande material. Den första protocellen bestod enbart av strukturen av en cell, det var som ett membran vilket var format som en droppe. Droppen hålls ihop genom att lipiderna har en hydrofobisk svans men ett hydrofilt huvud. Det gör att de hydrofoba huvudena fäster sig till varandra då allt runt omkring

³ Magnus Ehingers undervisning, *Aminer*, 17/11-2023, <https://ehinger.nu/undervisning/kurser/kemi-2/lektioner/mer-om-organiska-reaktioner/aminer.html> [hämtad 2025-01-31]

⁴ Britannica, *Lipid*, 4/1-2025, <https://www.britannica.com/science/lipid> [hämtad 2025-01-28]

⁵ NE, *intermediär*, u.å. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/intermedi%C3%A4r> [hämtad 2025-01-31]

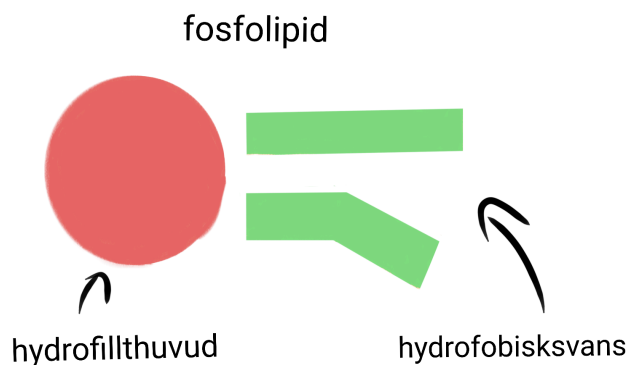
⁶ Genteknikämnden, *Nukleotider*, u.å. <https://www.genteknik.se/ordlista/nukleotider/> [hämtad 2025-01-31]

⁷ National Cancer Institute, *purine*, u.å. <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/purine> [hämtad 2025-01-31]

⁸ Britannica, *pyrimidine*, u.å. <https://www.britannica.com/science/pyrimidine> [hämtad 2025-01-31]

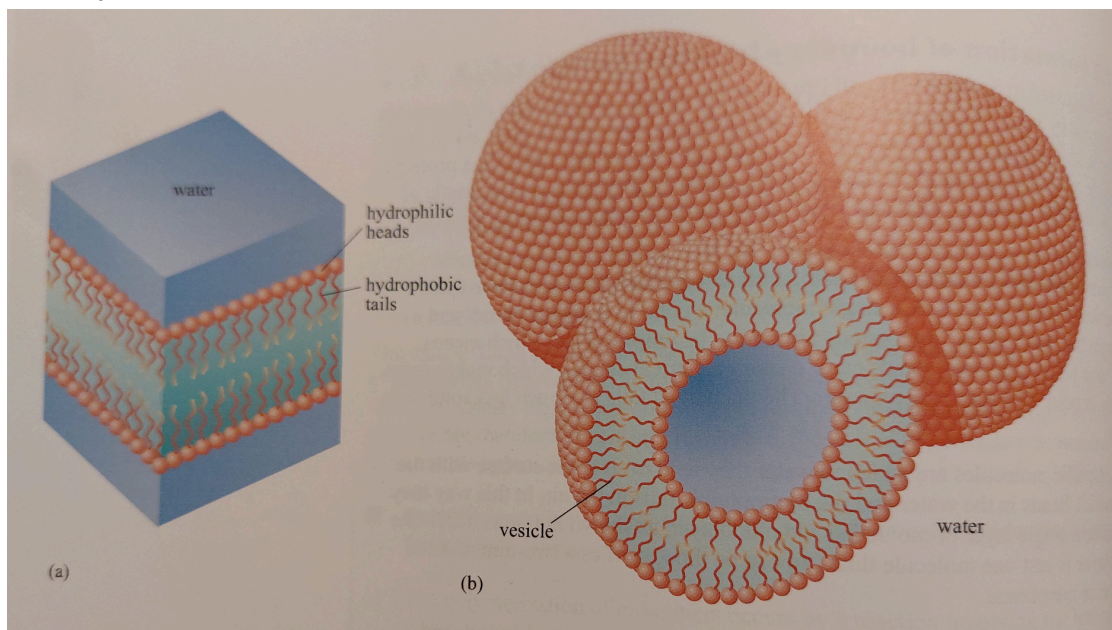
⁹ Naturvetenskap.se, *Polaritet*, u.å. <https://naturvetenskap.se/kemi/gymnasiekemi/kemiska-bindningar/polaritet/> [hämtad 2025-01-31]

var vatten och de vill inte binda sig till vattnet. Man kan likna det med att det blir som olja och vatten genom att det är små droppar som inte blandas.



Figur 1: Delar av fosfolipid

Dessa små droppar är som sfärer av lipider med hydrofobiska huvuden och hydrofila svansar och är nästan exakt som den membranstruktur vi har idag. Sedan när det utvecklades olika funktioner inne i protocellen användes den droppliknande formationen som ett skal runt allt som sker i. Men dessa protoceller uppstod inte bara ur tomma intet utan man har teorier om att i primitiva alkaliska hav fanns alla de aminosyror samt andra ämnen som behövdes för att åstadkomma detta.¹⁰



Figur 2: Lipiderna binder sig samman och bildar membran¹¹.

¹⁰ AZO lifesciences, *What is a Protocell?*, 28/10-2020, <https://www.azolifesciences.com/article/What-is-a-Protocell.aspx> [hämtad 22(1-2025)]

¹¹ Mark A. Sephton, 2021, *Chapter 1 origin of life, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 34

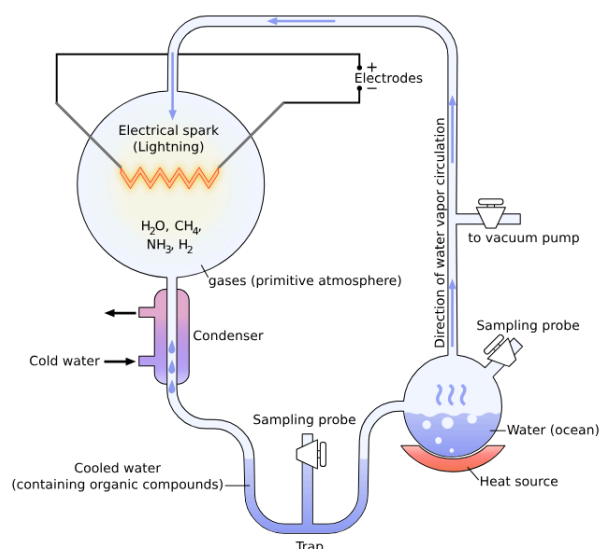
2.3 cyanid, byggstenen till liv

En av ämnena man har teorier om kan ha skapat vägen för liv på jorden är vätecyanid (HCN). Idag ses vätecyanid enbart som ett gift men forskare har visat att dess roll kan ha varit väldigt annorlunda i förstadierna av liv på jorden. När forskare har studerat meteoriter som har fallit ner till jorden har man hittat spår av vätecyanid. Detta leder till teorier om att vätecyanid har förts till förhistoriska jorden genom meteoriter eller supernovor och hjälpt planeten att starta processen för liv. Detta har man sett i det kända experimentet Miller-Urey som tas upp mer i 2.4. I experimentet blir vätecyanid ett mellansteg för att aminosyror skulle bildas.

Cyanid kan reagera med andra enklare molekyler som exempelvis ammoniak. Resultatet av dessa produkter leder till skapandet av aminosyror samt nukleotider. Men det är inte det enda cyanid kan göra för liv. Cyanid är även en molekyl som är ganska flexibel, vilket betyder att den kan reagera med många olika ämnen. Men förutom det kan den även polymerisera vilket betyder att den kan binda mindre molekyler så att man får längre kedjor av molekyler. På grund av polymeriseringen kan puriner och pyrimidiner bildas vilket gör att de olika kvävebaserna som finns i DNA och RNA kan bildas.

2.4 Miller-urey experimentet

Miller-urey experimentet utfördes på 1950-talet av doktoranden Stanley Miller samt hans handledare Harold C. Urey. Det som de gjorde var att återskapa en förhistorisk atmosfär och vilka ämnen som skulle skapas i den.



Figur 3: Miller-Urey experiment. ¹²

Miller-Urey är ett experiment i ett slutet system och i den experimentella uppställningen finns det två flaskor, en med vatten och en med olika gaser. Flaskan med vatten ska föreställa haven. När haven avdunstar rör sig vattenångan upp i atmosfären och i det här experimentet kommer den andra flaskan som är placerad

¹² Wikipedia, *Miller-Urey experiment*, (bild). (12/1-2025).
https://en.wikipedia.org/wiki/Miller%E2%80%93Urey_experiment [hämtad 2025-01-22]

högre upp agera som atmosfären och därav kommer vattenånga stiga till flaskan. Den andra flaskan ska representera atmosfären då den innehåller metan (CH_4), ammoniak (NH_3), vätegas (H_2) och vattenånga (H_2O) som var de gaser atmosfären var uppbyggd av. Eftersom atmosfären i en förhistorisk värld var instabil, så var den väldigt laddad på grund av att det var så många partiklar i atmosfären. Så med hjälp av elektricitet kunde man då återskapa den drivande faktorn att få de olika gaserna att reagera¹³. Det som skapades av denna reaktion var 14 aminosyror och fem aminer. Men när forskare har genomfört experimentet igen har man hittat 22 olika aminosyror samt de 5 aminerna man hittade i det ursprungliga experimentet¹⁴. När vattenånga kondenseras fördes aminosyror till flaskan som representerade havet¹⁵.

Förutom bildandet av aminosyror och aminer så har man identifierat att fettsyror och lipider även kan bildas i Miller-Urey. Detta betyder att förutom att protein kan bildas så kan ä även membran som kan sluta om proteinerna och genetisk information för att skapa protoceller bildas¹⁶.

2.5 Murchison meteorit

1969 landade en meteorit i en liten stad vid namn Murchison i Australien. Det som var speciellt med denna meteorit var att den dels var väldigt rik på kol men även den hade varit i omloppsbana mellan Mars och Jupiter sedan grundstadiet av vårt solsystem. Man började forskare undersöka och utföra experiment på den här meteoriten och hittade organiska molekyler, dessa organiska molekyler var aminosyror. Man började koppla de aminosyror man hittade på meteoriten med de man hittade i Miller-Urey-experimentet. Det som experimentet visade var mängden av de olika aminosyror samt vilka som fanns stämde nästan överens perfekt. Tack vare av detta upptäckt började forskare att fundera på om liv inte skapades på jorden utan i rymden och har förts till jorden där det senare kunde frodas eftersom planeten hade vissa egenskaper¹⁷.

Förutom att innehålla ungefär samma aminosyror och aminer som kunde syntetiseras i Miller-Urey-experimentet hade även materoiden med sig fettsyror. I Miller-Urey kunde även vissa fettsyror syntetiseras då ämnena och reaktionerna stämmer överens med skapandet av fettsyror och lipider¹⁸.

¹³ Sephton, 2021 s. 21

¹⁴ Astrobiology at NASA, *Miller-Urey Revisited*, 16/10-2008, <https://astrobiology.nasa.gov/news/miller-urey-revisited/> [hämtad 2025-01-25]

¹⁵ Sephton, 2021 s.21

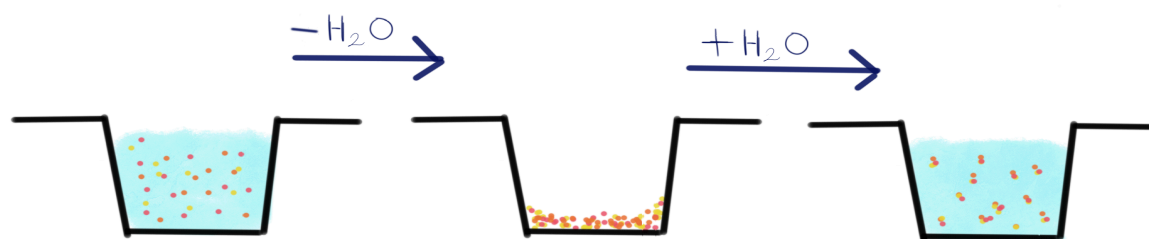
¹⁶ James C. - Y. Lai, Ben K. D. Pearce, Ralph E. Pudriz, Drake Lee, " Meteoritic Abundances of Fatty Acids and Potential Reaction Pathways in Planetesimals, *Icarus* 24/7-2018, <https://arxiv.org/pdf/1809.09779> [hämtad 2025-01-31]

¹⁷ Sephton, 2021 s. 22-23

¹⁸ Lai, Pearce, Pudriz, Lee *Icarus* 24/7-2018

2.6 Våt-torr cykeln

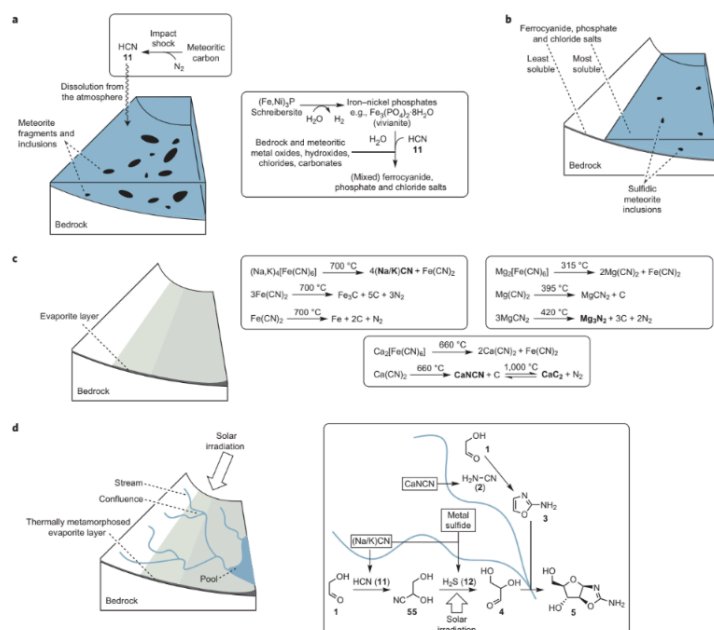
Det våt-torr cykeln har en stor koppling till vattnets kretslopp. Enligt vattnets kretslopp avdunstar vattnet i havet och blir till moln, som när de blivit tillräckligt tunga släpper ifrån sig vattnet i form av regn tillbaka till haven. Men om man istället skulle fokusera på en vattenpöl som genomgår samma process som havet. Så när vattnet avdunstar blir det inget kvar för vattenmängden är mycket mindre än i havet så leran på botten av pölen torkar. Men nästa gång det regnar så löses leran upp igen. Denna process skulle man kunna säga är lerans våt-torr cykel. Denna cykel kan man även göra med lipid-filmer. En lipid-film är som ett täcke av lipider som täcker botten, vilket visas i figur 3.



Figur 4: Demonstration av våt-torr cykeln.

2.7 Cynaosulfidiska protometabolismen

När ett meteorit slår ner kan liv bildas på nedslagsplatsen. Detta sker inte i ett steg utan flera steg som senare går ihop med varandra.



Figur 5: Den cyanosulfidiska protometabolismen sker efter ett meteoritnedslag.¹⁹

¹⁹ Bhavesh H. Patel, Claudia Percivalle, Dougal J. Ritson, Colm D. Duffy, John D. Sutherland, "Common origins of RNA, protein and lipid precursors in a cyanosulfidic protometabolism", *Nature chemistry* 16/3-2015, s. 301-306

I den cyanisulfidiska protometabolismen sker inte allt i ett steg, detta gjorde forskare irriterade då man inte kunde genomföra det i ett provrör. Efter ett meteoritnedslag förde meteoriten med vissa organiska ämnen. När sedan vattnet börjar kondensera och bilda pölar medför det att olika ämnen kan reagera med varandra. Dessa pölar av vatten börjar sedan rinna ihop med varandra vilket leder till att fler ämnen har möjlighet att reagera med varandra.

Mer exakt vad som händer är att ferrocyanidiska salter ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$) kommer kunna dela sig med hjälp av värmen från meteoritnedslaget. En liknande process kommer att ske för fosfater och klorinsalter. Efter att dessa molekyler har delat sig på grund av värmen från nedslaget och meteoriten börjar att svalna kommer vattnet från antingen regn eller en annan källa att föra samman alla bitar av dessa uppbrutna salter. Som det demonstreras längst ner i Figur 4 kommer att ske längs väggen av meteoritnedslaget och att alla reaktioner kommer ske steg för steg tills man får ut slutprodukten som heter arabinos aminosaxolin. Det är en intermediär molekyl som ofta är inblandad i reaktioner där olika sockerarter samt aminer skapas i närvaro av cyanid. Forskare tror att arabinos aminosaxolin sedan omvandlades till vissa delar av RNA och därför är viktig för livet i en förhistorisk värld²⁰.

3. Tidigare forskning

Protoceller har många egenskaper som är viktiga för skapelsen av liv då det bevisar hur det första livet skapades. Det som gjorde att man kunde stärka teorierna om protoceller stämmer beror på att man hittade att RNA är självreplikerande. Detta är viktigt då för liv behövs genetisk information som kan självreplikera. Forskare har hittat att protoceller kan självreplikera och har en genetisk information men man hittade bevis på att DNA inte fanns på förhistoriska jorden. Efter mer forskning kom forskare fram till att RNA-molekyler kunde lagra genetisk information och katalysera reaktioner men även replikera sig själv²¹. Detta gjorde det möjligt för protocellen att gå mot utvecklingen mot den cellen vi har idag. Så med den genetiska informationen från RNA samt ett lipidmembran som fungerar som en barriär genom att den skyddar innehållet och ger en stabil miljö där den kan replikera och reagera. Det är bra för att då kan cellen utvecklas i lugn och ro utan att bli söndersliten. Detta gjorde att det utvecklades en metabolism hos protocellen vilket betyder att olika kemiska reaktioner kunde göra energi från andra ämnen och därav kunna driva system i protocellen²².

Men för att ens kunna skapa RNA behövs de byggstenarna som kan bygga upp den. I RNA finns det fyra kvävebaser som är adenin, cytosin, guanin och uracil. Utöver det

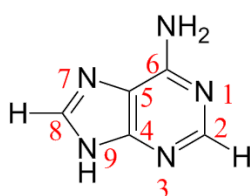
²⁰ National Library of Medicine, *Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions*, Maj 2009 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19444213/> [hämtad 2025-01-31]

²¹ Forskning & Framsteg, *steget före livets början: Gåtan som kan leda oss på rätt spår*, 2013-12-19, <https://fof.se/artikel/2014/1/steget-fore-livets-borjan-gatan-som-kan-leda-oss-pa-ratt-spar> [hämtad 2025-01-31]

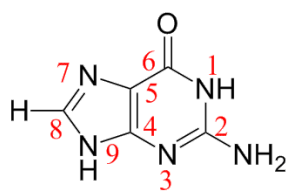
²² Arxiv, *Origin of life from a maker's perspective- focus on proticellular compartments in bottom-up synthetic biology*, 2022 <https://arxiv.org/pdf/2207.07225> [hämtad 2025-01-31]

behöver man även en sträng nukleinsyra som kan hålla ihop molekylen²³. För att få dessa byggstenar behöver de byggas upp. För de kvävebaser som finns i RNA men även DNA behöver man puriner och pyrimidiner som är samlingsnamnet för de olika kvävebaserna²⁴.

Puriner:

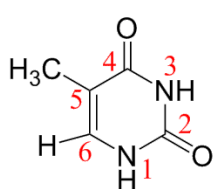


Adenin (A)



Guanin (G)

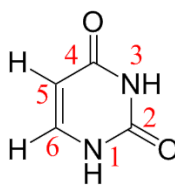
Pyrimidiner:



Thymin (T)



Cytosin (C)



Uracil (U)

Baser i DNA eller RNA

Figur 6: Puriner och pyrimidiner²⁵.

För att skapa puriner och pyrimidiner behöver man polarisera cyanid så att större molekyler kan bildas. Cyanid behövs även för att den cyanosulfidiska protometabolismen kunna genomföras då det bildas vissa typer av aminer samt sockerarter cellen kan använda sig av för att utvinna energi²⁶.

En annan parameter som man skulle behöva för att skapelsen av liv skulle kunna finnas är membran. För att kunna bygga upp membran behöver man lipider som kan fästa till varandra för att stänga ute vatten och kunna hålla ihop de saker en cell skulle behöva. I Miller-Urey skapas de ämnen som behövs för lipider men själva lipiderna skapas troligtvis i hydrotermala ventiler²⁷.

²³ Genteknikämnden, *Grundläggande molekulärgenetik*, u.å.

<https://www.genteknik.se/genetik-och-genteknik/genetik/fran-gen-till-protein/> [hämtad 2025-01-31]

²⁴ Patel, Percivalle, Ritson, Duffy, Sutherland, 16/3-2015, s. 301-306

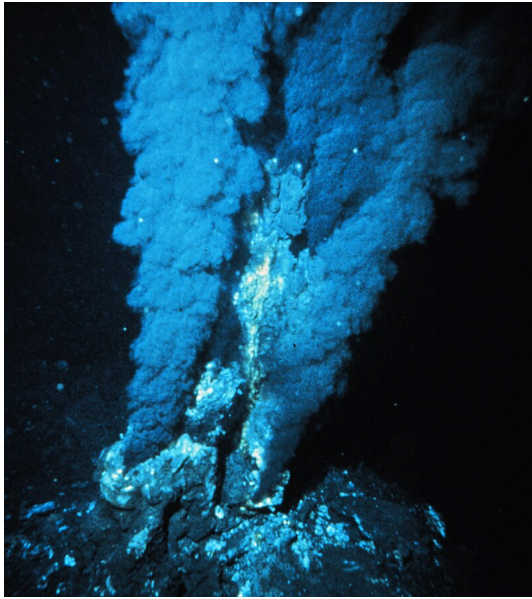
²⁵ Universitetet i Oslo, *Pyrimidin*, 2011-02-04,

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/pyrimidin.html> [hämtad 2025-01-31]

²⁶ Patel, Percivalle, Ritson, Duffy, Sutherland, 16/3-2015, s. 301-306

²⁷ Royal society of chemistry, *Hydrothermal vent and the origins of life*, 2017-04-16

<https://www.chemistryworld.com/features/hydrothermal-vents-and-the-origins-of-life/3007088.article> [hämtad 2025-01-28]



Figur 7: Hydrotermal ventil ²⁸.

Det är mycket som kan hända i de hydrotermala ventilerna. Bland annat kan reaktionen katalyseras då det finns en specifik mineral som heter järn-nickel-sulfit. Det järn-nickel-sulfit gör är att omvandla koldioxid till organiska molekyler. Detta är en förutsättning för att lipider kan bildas. Miljön är även så pass skyddad att dessa lipider skulle kunna ordna sig för att skapa membran²⁹.

4. Syfte, frågeställningar och hypotes

Syftet med gymnasiearbetet är att få bättre förståelse för hur livet kan ha uppstått på vår planet. Detta sätt skulle vi i sin tur kunna applicera på andra planeter när vi exempelvis ska kolonisera Mars.

För att experimentet ska vara möjligt att utföra i ett skollaboratorium används färdiga lipider. Då att göra lipider från grunden skulle innebära att värma upp ferrocyanidiska salter i över 700 grader celsius, samt att cyanid skulle vara involverat. Så det var en del begränsningar på grund av tid samt svårighetsgrad. Exempelvis i teorin skulle man kunna fortsätta växa dem för att få genetiskt material, men detta skulle behöva renrum samt material för att växa celler. Min hypotes är att efter lipiderna har löst sig och ha fått torka ska det fungera att de ska gå igenom en våt-torr cykel och vecka sig för att bilda membranstrukturer. Om detta går kan man se om ungefär samma process kan ha genomförts på en förhistorisk planet. Vilket leder till frågeställningen. Kan liv ha skapats på en förhistorisk planet genom våt-torr cykeln, cyanosulfidiska protometabolismen och hydrotermala ventiler utifrån resultatet i laborationen?

²⁸Wikipedia, *Hydrotermal öppning*, (bild). (4/12-2006).
https://sv.wikipedia.org/wiki/Hydrotermal_%C3%B6ppning [hämtad 2025-01-30]

²⁹ Royal society of chemistry, *Hydrothermal vent and the origins of life*

5. Metod och material

Denna studie genomfördes genom ett experiment på laboratoriet på Spira Teoretiska Gymnasium på Stora Essingen. Experimentet delas in i tre delar.

- Förberedelser innan experimentet (preparationer)
- genomföra avdunstning av kloroform i vakuum (avdunstning)
- provet genomgår våt-torr cykeln (upplösningen)

5.1 Preparationer

Material

- natriumklorid (NaCl)
- Kaliumklorid (KCl)
- dinatriumfosfatdihydrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Kaliumdivätefosfat kristaller (KH_2PO_4)
- Avjonat Vatten
- Natriumhydroxid (NaOH)
- Bägare (stor + liten)
- kokplatta
- pH-mätare
- våg
- muffinsform
- magnetomrörare
- glasflaska

Metod

Tog fram en stor bägare att blanda bufferten i. Sedan hälldes upp 400 ml av avjonat vatten. Med hjälp av en våg vägdes 4 g av NaCl i en liten bägare. Den uppvägda mängden av NaCl tillsattes till den stora bägaren. Satte den stora bägaren på vågen och nollställde den. Sedan tillsattes 0,1 g av KCl. Nollställ vågen en ytterligare gång och tillsatte sedan 0,72 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Bytte till en annan våg för att få en högre noggrannhet. I en liten muffinsform vägdes 0,1225 g KH_2PO_4 . Tillsatte innehållet i muffinsformen till den stora bägaren.

Med hjälp av en sked blandades lösningen tills allt salt hade löst sig. Mätte först pH med en pH-strip: Sedan med en pH-mätare för att få en högre noggrannhet. pH-mätaren visade att pH låg på 7,28 och för att få denna buffert vill man ha den på 7,4. Till lösningen tillsattes 18 droppar NaOH [0,1 M] för att uppnå den önskade pH.

Dropparna tillsattes en i taget och lösningen blandades konstant på en magnetomrörare. När Bufferten var klar fylldes den över i en stor flaska för förvaring. Innan den kunde förvaras var den tvungen att steriliseras. Med hjälp av en glasflaska kokades lösningen i glasflaskan. Den fick koka i 15 minuter. Efter det fick flaskan en etikett och ställdes på förvaring.

Receptet på bufferten kommer från AAT Bioquest, men receptet halverades³⁰.

Material

- U-rör
- provrör
- 2 stora bägare
- vatten
- kokplatta

Metod

För att få sterila provrör behöver provrören kokas tre dagar i rad innan experimentet. Det som behövdes göras är att sterilisera provrören. Detta görs enligt Tyndallization (se bilaga 5 för förklaring av tyndallization), vilket är en process som steriliserar genom att koka sina saker i 15 minuter tre dagar i rad. Så måndagen innan experimentet kokades två stora bägare med vatten på en kokplatta. Båda bägarna var fyllda med 800 ml vardera. Det var två bägare då en av provrören gick inte ner i någon av bägarna då provröret hade ett munstycken för att kunna koppla en vakuumpump. När vattnet kokade lades provröret in. Provrören fick koka i 15 minuter. Efter det var vattnet för varmt för att ta ut dem så de fick stå i vattnet nästa gång.

5.2 Avdunstning

Material

- Soja fosfolipider
- Kloroform (CHCl_3)
- muffinsform
- U-rör
- våg
- Vakuumpump
- slang (till vakuumpumpen)
- gasolbrännare
- tändstickor
- stativ

Metod

Med hjälp av en våg vägdes 0,329 g soja fosfolipider i en liten muffinsform. Efter det tillsattes detta till ett sterilt u-rör. När det var klart monterades ett stativ som kunde

³⁰ ATT Bioquest, *PSB (Phosphate Buffered Saline)(1X, pH 7.4) Preparation and Recipe*, u.å.
<https://www.aatbio.com/resources/buffer-preparations-and-recipes/pbs-phosphate-buffered-saline>
[hämtad 2025-01-31]

hålla uppe u-röret även en gasolbrännare. När det var uppsatt gjordes u-röret lufttät samt vakuumpumpen kopplades. Efter det tillsattes 3 ml kloroform till u-röret. Det skakades tills alla lipider var upplösta. Korkar sattes på och u-röret monterades fast vid ställningen. Sedan pumpades all luft ut ur u-röret med hjälp av vakuumpumpen. När all luft var ute sattes en gasolbrännare på. Gasolbrännaren hade en svag låga så att u-röret inte skulle brännas. U-röret var även lutat så att om något skulle hända skulle det vara rillat mot dragskåpet inre vägg. Under avdunstningsprocessen pumpades luften som frigjordes från kokningen ut med hjälp av vakuumpumpen. Detta fick avdunsta tills all kloroform var borta. När allt kloroform var avdunstat las u-röret på förvaring till nästa vecka och allt ställdes tillbaka till där det togs ifrån.

För mängden kloroform användes information från protocols.io där de beskriver att för lösning av lipider i kloroform behöver man så mycket kloroform så att det löser lipiderna men det gör inget om det blir mer för att det kommer ändå att avdunsta³¹.

För avdunstningsprocessen användes en doktorsavhandling av Elif Senem Köksal. Men experimentet kunde inte exakt utföra likadant då all utrustning var inte tillgänglig, så processen är den del som inspirerar laborationen³².

5.3 Upplösningen

Material

- Natriumklorid (NaCl)
- Magnesiumdiklorid (MgCl₂)
- Stativ
- U-rör (från tidigare laborationen)
- PBS (från första laborationen)
- muffinsformar
- liten bägare
- mikropipett
- mikroskop
- BTB
- objektglas för mikroskop
- täckglas för mikroskop

Metod

Med hjälp av en våg vägdes 0,053 g MgCl₂ i en liten muffinsform. Likadant gjordes för NaCl fast 0,438 g. Innehållet i båda muffinsformarna hölls i en liten bägare. Sedan tillsattes 7,5 ml av PBS som gjordes tidigare samt 22,5 ml avjonat vatten. Lösningen blandades tills allt salt hade löst sig. I u-röret med lipid-filmen som blev av avdunstningen hölls lösningen. Med hjälp av en mikropipett togs ett prov direkt när lösningen hölls i. Nästa prov togs efter 20 minuter och under den tiden studerades

³¹ protocols.io, *Part 1: Preparation of lipid films for phospholipid liposomes V.2*, 2017-03-04, <https://www.protocols.io/view/part-1-preparation-of-lipid-films-for-phospholipid-e6nvwbx9vmkj/v2?step=3> [hämtad 2025-01-31]

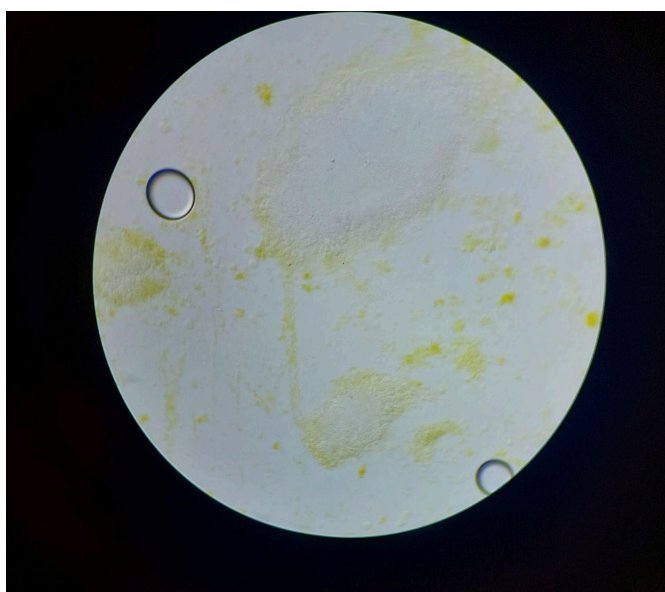
³² Elif Senem Köksal, *Surface-assisted formation and development of modern protocells*, (Oslo: University of Oslo, 2021) s. 43

prov 1 under mikroskop. Samma process hände vid provtagning två. 20 minuter senare togs den sista provtagningen. Innan provet studerades under mikroskop tillsattes en droppe BTB för att agera som ett färgning ämne.

Hur våt-torr cykeln genomfördes baserades på en rapport som publicerades i Nature diskuterar de vilken uppgift våt-torr cykeln hade för skapelsen av liv³³.

6. Resultat

Första provtagningen togs bara några minuter efter tillsättningen av vätska, dock kunde man inte se något i mikroskopet. Efter 20 minuter togs den andra provtagningen och då kunde man se något med blotta ögat men inget under mikroskopet. Efter 40 minuter togs provtagning 3 och då BTB tillsattes så kunde man se små kluster. En stor del av det man såg var ihopklumpade men man kunde se några som var ensamma på det sätt som man kan se i figur 8.



Figur 8: Bild av resultatet.

Det man kan se i Figur 5 är små gula prickar eller kluster av gula prickar. Det är det som är själva membranen.

7. Diskussion

³³Nature communications, *Impact of wet-dry cycling on the phase behavior and compartmentalization properties of complex coacervates*, 2020-08-27, <https://www.nature.com/articles/s41467-020-19184-z> [hämtad 2025-01-31]

7.1 Diskussion av resultatet

Resultatet i experimentet visade att membran kan formas genom våt-torr cykeln. Detta innebär att det finns en möjlighet att en liknande process skulle kunna ske på förhistoriska jorden. Detta stärker teorin för protoceller då vi vet att ett membran kan formas. Detta förmedlar att det finns en skyddad miljö där arvs massa kan replikera samt en plats för kemiska reaktioner att ske.

7.2 Liv på Mars

Om det har funnits liv på Mars är något som har diskuterats länge. Nackdelen med Mars i nuläget är att planeten inte har någon atmosfär. Detta gör att temperaturerna går i toppar och dalar, där den högsta piken är långt ifrån den lägsta dalen. Men detta är i nuläget och om vi vill att planeten ska få eller återfå liv. Men Mars hade en atmosfär en gång i solsystemets historia. Om vi går tillbaka till den punkt i solsystemets historia när Mars hade en atmosfär tror forskare att det finns en chans att liv kunde ha funnits på den röda planeten³⁴. Detta är för att man har hittat spår av organiska molekyler. Detta vet man på grund av att Perseverance var en av NASAs Mars rovers. Den tog totalt 43 tests av Mars yta och hittade att de innehåller organiska molekyler men för att veta säkert behöver man få proverna till jorden så de kan analyseras. Den platsen som Perseverance tog proverna ifrån var en kanal som forskare har misstänkt att det kan ha funnits vatten i för länge sedan³⁵. Men Perseverance var inte den första rovern man skickade för att leta efter liv på Mars utan det var Viking som var två rovers man skickade på 1970-talet. Uppdraget var att leda efter CO₂, O₂, CH₄, H₂ och N₂ i Mars jord. Men man hittade inga organiska ämnen vilket överraskade forskare då meteoriter från Mars brukade bara på organiska molekyler. Man testade kontrollprovet och även den visade att den inte heller innehöll några organiska ämnen vilket den skulle. Det man kom fram till var att testet för att få fram de organiska molekylerna var kontaminerat när man städade instrumentet. När man testade sedan Mars jord igen och då hittade man att det fanns både syre och kol³⁶.

7.3 Liv på exoplaneter

Om vi vet hur livet på vår planet skapades skulle vi kunna återskapa processen på andra planeter med liknande möjligheter. Vi vet inte säkert om detta är den vägen liv skapas. Man tror att det är vägen för livet på jorden men det är fortfarande mycket vi inte vet. Så att säga säkert att detta är den enda och rätta vägen för livet går inte då vi dels vet inte att det var exakt detta som hände för oss även fast vi har lyckats

³⁴ Susanne P. Schwenzer, David A. Rothery, John C. Zarnecki 2021, *Chapter 3 Mars, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 99-102

³⁵ NASA Jet Propulsion Laboratory, *NASA's Perseverance Mars Rover Makes Surprising Discoveries*, 2021-12-15, <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-perseverance-mars-rover-makes-surprising-discoveries/> [2025-01-31]

³⁶ Susanne P. Schwenzer, David A. Rothery, John C. Zarnecki 2021, s. 99-102

återskapa vissa segment som exempelvis Miller och Urey gjorde. För det andra vet vi inte om vi är ensamma i universum. Liv kan ha skapats på ett helt annat sätt innan eller parallellt med oss. Därav kan vi inte säga att vi har löst livets gåta. Det bästa vore att försöka återskapa processen med de förhållanden som fanns på förhistoriska jorden men då skulle vi antingen behöva skapa en simulation eller hitta en planet med exakt samma egenskaper som jorden då hade. Men för att liv skulle kunna skapas behövs olika ämnen. Genom en metod som kallas spektroskopi där man tittar på vilka våglängder som en atmosfär släpper igenom kan man få reda på vilka ämnen som finns i atmosfären. Om atmosfären för en exoplanet skulle innehålla metan (CH_4), ammoniak (NH_3), vätgas (H_2) och vattenånga (H_2O) skulle aminosyror och aminer kunna skapas. Detta är sättet som gjordes på jorden och har bevisats genom Miller-Urey-experimentet. Men temperaturen är även en viktig faktor för att denna cykel skulle kunna fungera då vattnet behöver kondenseras samt avdunstning. Detta behövs så att de olika komponenterna kan föras tillsammans och bilda celler³⁷.

Så om det finns annat liv i rymden vet vi inte. Forskare har dock hittat planeter som ligger flera hundra ljusår bort där det skulle finnas möjligheter till liv då de liknar jorden både till atmosfären, storlek och avstånd från solen.

7.4 Felkällor

Det finns en del felkällor som kan ha påverkat resultatet av experimentet. Det största var att inget färgningsmedel tillsattes till de första två proverna. Så vi vet inte om de två första försöken gav resultat då man inte kunde se något under mikroskopet. En annan felkälla var att mikroskopolja används inte vilket gjorde att det blev luftbubblor i mitt prov samt kunde det även göra att jag kunde få en tydligare bild på mitt prov.

Om jag skulle göra detta experiment en gång till skulle jag utföra det under en längre tid. För att det som gör att protocellerna kan formas är wet-dry cykeln så man skulle få ett bättre resultat om man kunde genomföra den flera gånger istället för mig som endast gjorde det en gång. Även fast det fungerade så skulle jag nog ha fått bättre resultat om jag genomförde cykeln fler gånger. En annan sak som skulle kunna förbättra experimentet är att ha lite glycerin för att få en stabilare veckning. Dock behöver man göra mycket mer i volym synpunkt för att mängden glycerin är minimal. Den var så pass liten att om det skulle vara med i detta experiment skulle det vara mindre än en droppe.

³⁷ NASA, *Life on Other Planets: What is Life and What Does It Need?* 2023-06-20, <https://science.nasa.gov/universe/search-for-life/life-on-other-planets-what-is-life-and-what-does-it-need/> [2025-01-31]

8. Källförteckning

Astrobiology at NASA, *Miller-Urey Revisited*, 16/10-2008,
<https://astrobiology.nasa.gov/news/miller-urey-revisited/> [hämtad 2025-01-25]

ATT Bioquest, *PSB (Phosphate Buffered Saline)(1X, pH 7.4) Preparation and Recipe*, u.å.
<https://www.aatbio.com/resources/buffer-preparations-and-recipes/pbs-phosphate-buffered-saline>
[hämtad 2025-01-31]

AZO lifesciences, *What is a Protocell?*, 28/10-2020,
<https://www.azolifesciences.com/article/What-is-a-Protocell.aspx> [hämtad 22(1-2025)]

Bhaves H. Patel, Claudia Percivalle, Dougal J. Ritson, Colm D. Duffy, John D. Sutherland,
"Common origins of RNA, protein and lipid precursors in a cyanosulfidic protometabolism", *Nature chemistry* 16/3-2015, s. 301-306

Britannica, *Lipid*, 4/1-2025, <https://www.britannica.com/science/lipid> [hämtad 2025-01-28]

Britannica, *pyrimidine*, u.å. <https://www.britannica.com/science/pyrimidine> [hämtad 2025-01-31]

Elif Senem Köksal, *Surface-assisted formation and development of modern protocells*,
(Oslo: University of Oslo, 2021) s. 43

Forskning & Framsteg, *steget före livets början: Gåtan som kan leda oss på rätt spår*, 2013-12-19,
<https://fof.se/artikel/2014/1/steget-fore-livets-borjan-gatan-som-kan-leda-oss-pa-ratt-spar> [hämtad 2025-01-31]

Genteknikämnden, *Grundläggande molekylärgenetik*, u.å.
<https://www.genteknik.se/genetik-och-genteknik/genetik/fran-gen-till-protein/> [hämtad 2025-01-31]

Genteknikämnden, *Nukleotider*, u.å. <https://www.genteknik.se/ordlista/nukleotider/> [hämtad 2025-01-31]

James C. - Y. Lai, Ben K. D. Pearce, Ralph E. Pudriz, Drake Lee, "Meteoritic Abundances of Fatty Acids and Potential Reaction Pathways in Planetesimals", *Icarus* 24/7-2018,
<https://arxiv.org/pdf/1809.09779> [hämtad 2025-01-31]

Magnus Ehingers undervisning, *Aminer*, 17/11-2023,
<https://ehinger.nu/undervisning/kurser/kemi-2/lektioner/mer-om-organiska-reaktioner/aminer.html>
[hämtad 2025-01-31]

Magnus Ehingers undervisning, *Hur livet uppstod*, 2024-11-05,
<https://ehinger.nu/undervisning/kurser/biologi-1/lektioner/evolution-och-systematik/hur-livet-uppstod.html>
[hämtad 2025-01-31]

Mark A. Sephton, 2021, *Chapter 1 origin of life, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 34

Mark A. Sephton, 2021, *Chapter 1 origin of life, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 23

NE, Aminosyror, u.å. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aminosyror> [2025-01-31]

NE, *intermediär*, u.å. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/intermedi%C3%A4r> [hämtad 2025-01-31]

NASA Jet Propulsion Laboratory, *NASA's Perseverance Mars Rover Makes Surprising Discoveries*, 2021-12-15, <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-perseverance-mars-rover-makes-surprising-discoveries/> [2025-01-31]

NASA, *Life on Other Planets: What is Life and What Does It Need?* 2023-06-20, <https://science.nasa.gov/universe/search-for-life/life-on-other-planets-what-is-life-and-what-does-it-need/> [2025-01-31]

National Cancer Institute, *purine*, u.å. <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/purine> [hämtad 2025-01-31]

National Library of Medicine, *Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions*, Maj 2009 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19444213/> [hämtad 2025-01-31]

Nature communications, *Impact of wet-dry cycling on the phase behavior and compartmentalization properties of complex coacervates*, 2020-08-27, <https://www.nature.com/articles/s41467-020-19184-z> [hämtad 2025-01-31]

Naturvetenskap.se, *Polaritet*, u.å. <https://naturvetenskap.se/kemi/gymnasiekemi/kemiska-bindningar/polaritet/> [hämtad 2025-01-31]

protocols.io, *Part 1: Preparation of lipid films for phospholipid liposomes V.2*, 2017-03-04, <https://www.protocols.io/view/part-1-preparation-of-lipid-films-for-phospholipid-e6nvwbx9vmkj/v2?step=3> [hämtad 2025-01-31]

Royal society of chemistry, *Hydrothermal vent and the origins of life*, 2017-04-16 <https://www.chemistryworld.com/features/hydrothermal-vents-and-the-origins-of-life/3007088.article> [hämtad 2025-01-28]

Susanne P. Schwenzer, David A. Rothery, John C. Zarnecki 2021, *Chapter 3 Mars, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 99-102

Teresa Thiel, "sterilization of Broth Media by Tyndallization, *Science in the Real World* 1999 <https://www.umsl.edu/microbes/files/pdfs/tyndallization.pdf> [hämtad 2025-01-31]

Universitetet i Oslo, *Pyrimidin*, 2011-02-04, <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/pyrimidin.html> [hämtad 2025-01-31]

Wikipedia, *Hydrotermal öppning*, (bild). (4/12-2006). https://sv.wikipedia.org/wiki/Hydrotermal_%C3%B6ppning [hämtad 2025-01-30]

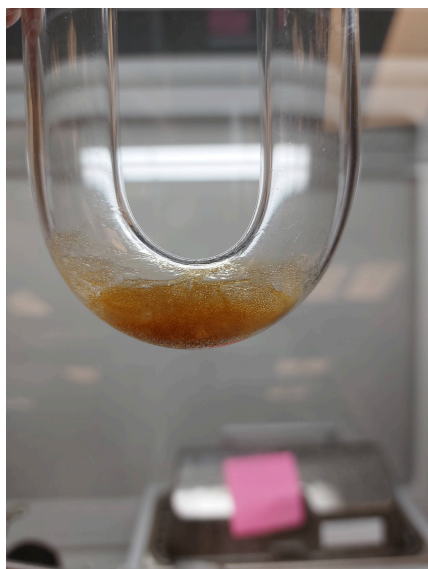
Wikipedia, *Miller-Urey experiment*, (bild). (12/1-2025). https://en.wikipedia.org/wiki/Miller%E2%80%93Urey_experiment [hämtad 2025-01-22]

Bilaga 1

Amino acid	Abundance of amino acid		Found in proteins on Earth
	Synthesized in the Miller–Urey experiment	Found in the Murchison meteorite	
glycine	••••	••••	yes
alanine	••••	••••	yes
α -amino- <i>N</i> -butyric acid	••	••••	no
α -aminoisobutyric acid	••••	••	no
valine	••	••	yes
norvaline	••	•••	no
isovaline	••	••	no
proline	•••	•	yes
pipecolic acid	•	•	no
aspartic acid	•••	•••	yes
glutamic acid	•••	•••	yes
β -alanine	••	••	no
β -amino- <i>N</i> -butyric acid	••	••	no
β -aminoisobutyric acid	•	•	no
γ -aminobutyric acid	•	••	no
sarcosine	••	•••	no
<i>N</i> -ethylglycine	••	••	no
<i>N</i> -methylalanine	••	••	no

Bilaga 1: Tabell över de ämnen som hittades på Murchison-meteoriten samt syntetiserades i Miller-Urey-experimentet³⁸.

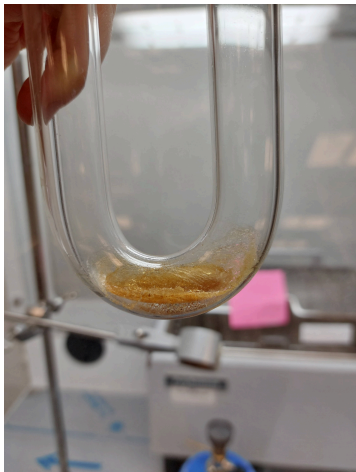
Bilaga 2



Bilaga 2: lipid film från experimentet

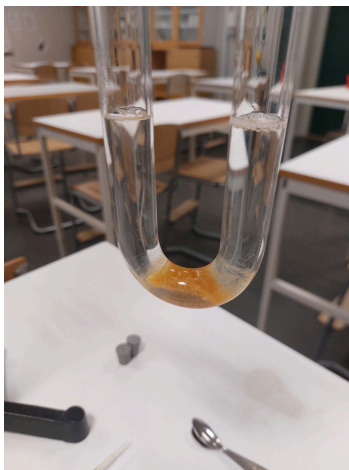
³⁸Mark A. Sephton, 2021, *Chapter 1 origin of life, An Introduction to Astrobiology*, David A. Rothery, Iain Gilmour, Mark A. Sephton, 3 uppl. (Amersham: Cambridge university press), s. 23

Bilaga 3



Bilaga 3: Lipid film från experimentet.

Bilaga 4



Bilaga 4: Lipid film som löser sig i vattnet för att gå igenom våt-torr cykeln.

Bilaga 5

Förklaring av tyndalization

Tyndalisering är en metod som steriliserar ens redskap genom att koka dem i vatten. Det man gör är att koka upp en bägare med vatten och kokar ens redskap i 15 minuter sedan tar man ut dem och förvarar dem på ett ställe där inte bakterier eller andra partiklar kan komma åt redskapen. Men innan processen är klar ska man ha gjort detta i tre till fem dagar i rad så att det som hinner växa under den tiden kan dödas igen vid kokningen dagen efter. Eftersom man gör detta i dagar i följd av varandra kommer allt som har växt efter den första gången att dödas vid andra eller tredje tillfället. Man använder sig av denna metod när man inte har tillgång till en

tryckkokare eller en autoklav. Man får ungefär samma resultat men det tar längre tid³⁹.

³⁹ Teresa Thiel, "sterilization of Broth Media by Tyndallization, *Science in the Real World* 1999
<https://www.umsl.edu/microbes/files/pdfs/tyndallization.pdf> [hämtad 2025-01-31]