

MÅNEN OG TIDEVANNSKRAFTEN 2019

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

ITE1916, 2019V

Kristoffer Johan Garmann

INNHALDSFORTEGNELSE

Figurliste	2
Tall	3
Sammendrag	3
1.1 Problemstilling.....	3
1.2 Metode	3
1.3 Avgrensing	3
2 Hoveddel.....	4
2.1 Månens opprinnelse.....	4
2.1.1 Månens alder.....	4
2.1.2 Nedslagsteorien.....	4
2.1.3 Andre teorier	5
2.1.4 Nyere forskning	5
2.2 Tidevannskraften.....	6
2.2.1 Tidevannsakselerasjon	8
3 Avslutning	9
3.1 Analyse	9
3.2 Konklusjon	9
4 Referanser	9

FIGURLISTE

Figur 1 Månen, fotografert av forfatter 20.01.19	4
Figur 2 Illustrasjon av den moderne nedslagsteorien, malt av en av forfatterne av den klassiske nedslagsteorien (Hartmann, 2005)	6
Figur 3 Jord-måne-systemet. (Garmann, 2019)	7
Figur 4 Summen av kreftene(svarte) på en planet med en måne i nærheten(til venstre). Tidevannskraftene vises med røde piler. Størrelsene her er overdrevet og perspektiv er ovenfra (Franc, 2012).....	7
Figur 5 Et endimensjonalt eksempel for å forklare hvordan tidevannskraften påvirker et legeme.	8
Figur 6 Jorden roterer rundt sin egen akse og drar tidevannet foran linjen mellom månen og jorden. Overdrevet illustrasjon tegnet av forfatteren.....	8

TALL

Tallgrunnlaget for matematiske utregninger.

	Månen	Jorden
Masse[10^{24} kg]	0.07346	5.9724
Gravitasjonskonstant[10^6 km ³ /s ²]		0.39860
Stor halvakse[10^6 km]	0.3844	
Radius[km]	1738.1	6378.1

SAMMENDRAG

Rapporten Månen og Tidevannskraften er et forsøk på å få et moderne perspektiv på forskning rundt månens opprinnelse og tidevannskreftenes rolle i utviklingen av jord-måne-systemet. Rapporten er i hovedsak utarbeidet gjennom litteratursøk. Det finnes godt dokumenterte påstander, og en hel del uenighet. Teoriene rundt formasjonen av månen er i stadig utvikling. Gjennomgående konkluderer jeg med at fremgang i analyseteknikker av geologiske prøver fører til fremgang og raffinering av teoriene om månens opprinnelse.

1 INNLEDNING

1.1 PROBLEMSTILLING

Hovedmålet med rapporten er å undersøke forskning på månens opprinnelse og tidevannskraftens betydning i utviklingen jord-måne-systemet. Hvordan har tidevannseffekten påvirket utviklingen av systemet, hvordan påvirker det systemet i dag og hvordan kommer det til å påvirke utviklingen av systemet i fremtiden?

1.2 METODE

Prosjektet utforsker temaet gjennom litteratursøk. Kildematerialet er med få unntak artikler publisert i fagfellelevurderte tidsskrifter. Jeg har forsøkt å finne frem til god, moderne forskning, samt inkludert eldre artikler som har vært definerende for feltet.

1.3 AVGRENSING

Prosjektoppgaven vil fokusere på tidevannskraften og den astronomiske effekten av denne i jord-måne-systemet. Mye av dette er generelt for alle legemer som går i bane rundt hverandre. Selve tidevannet slik vi opplever det på jorden vil gjøre oppgaven for bred for formålet, så selv om dette i seg selv er spennende og relevant vil det utelates fra oppgaven. Jeg vil heller ikke demonstrere noe matematikk utover helt enkle forklaringer.

2 HOVEDDEL

2.1 MÅNENS OPPRINNELSE

Det finnes flere mulige teorier for hvordan månen ble dannet, men nedslagsteorien er i dag helt klart akseptert av forskningsmiljøet som den ledende og mest sannsynlige teorien.



Figur 1 Månen, fotografert av forfatter 20.01.19

2.1.1 Månens alder

Nyere forskning viser at månen ble dannet innen 60 millioner år etter at solsystemet vårt ble til (Barboni, et al., 2017). Alderen fastsettes til minimum 4.51 milliarder år ved zirkondatering av prøver brakt tilbake av Apollo 14 i 1971. Det er antatt at månens overflate var flytende magma i utgangspunktet og Barboni, et al. påpeker at dette er et konservativt estimat for når månens overflate stivnet. Dette betyr at månen ble dannet veldig tidlig i jordens historie og har eksistert nesten like lenge som jorden selv.

2.1.2 Nedslagsteorien

Nedslagsteorien, foreslått på midten av 70-tallet av (Hartmann & Davis, 1975) og (Cameron & Ward, 1976), sier at månen ble til ved en kollisjon mellom jorden og en hypotetisk protoplanet med omtrent samme masse som Mars. At månen er resultat av en kollisjon mellom disse to er det bred enighet om, men det debatteres fremdeles kraftig rundt hvordan dette faktisk har skjedd. Denne hypotetiske protoplaneten har fått navnet Theia.

Den originale ideen er at Theia har sneiet jorden i kanten og at masse fra begge legemer har blitt slynget ut i bane rundt jorden som etter hvert har samlet seg og formet månen. Dette er forenelig med dreiemomentet og massen i systemet vårt i dag og hvordan man har antatt dette har utviklet seg (Canup & Asphaug, 2001).

Dersom den opprinnelige teorien stemmer vil man anta at jorden og månen har forskjellige kjemiske sammensetninger. Analyser av sammensetningen av oksygenisotoper i måneskorpen viser at sammensetningen av månen og jorden er like (Young, et al., 2016). Dette er ikke forenelig med den opprinnelige nedslagsteorien med mindre Theia og jorden i utgangspunktet var helt like. Sannsynligheten for dette er ikke mer enn 5-8% (Kaib & Cowan, 2015).

En annen studie (Wang & Jacobsen, 2016) påviser tyngre isotoper av kalium i måneskorpen som kun dannes ved ekstremt høy trykk tyder på at kollisjonen mellom Theia og jorden har vært mer direkte og med større krefter involvert enn tidligere antatt.

Det finnes altså betydelige bevis for at den opprinnelige nedslagsteorien ikke er helt riktig.

2.1.3 Andre teorier

2.1.3.1 Binærteorien

En vanlig modell for planet-måne-systemer i verdensrommet er binærmodellen (Crida & Charnoz, 2012). Den går ut på at planet og satellitt formes av samme massesky rundt en stjerne. Dette kan ikke være tilfelle i jord-måne-systemet blant annet på grunn av jorden og månens dreiemoment. I binærmodeller vil man også forvente at planeten og satellittens rotasjonsvinkler og baneplan er tilnærmet like solsystemets plan, noe som ikke er tilfelle for jorden og månen. Man forventer også at månen og jorden har like stor kjerne, og det er heller ikke tilfelle.

2.1.3.2 Fisjonsteorien

Fisjonsteorien ble først fremsatt av George Darwin i «The Tides and Kindred Phenomena in the Solar System» i 1898. Her spekulerer han i at sentrifugalkraften i en ung jord kan ha slynget ut en masse stor nok til å bli om til månen. Teorien krever at jorddøgnet på den tiden var under 2.5 timer, og det er ikke nok energi i systemet til at dette kan være mulig (Cuk, 2018). Dette er den første vitenskapelige teorien som antar at månen og jorden er lagd av samme materiale.

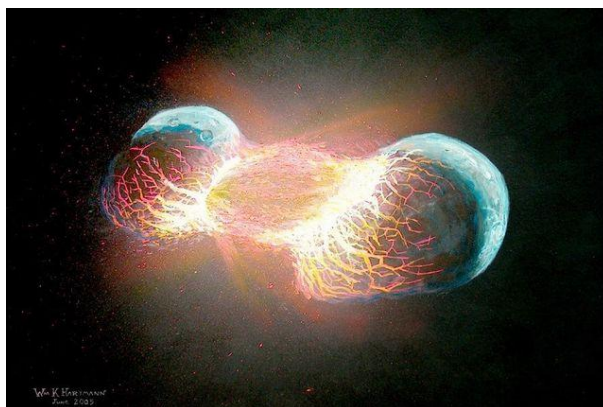
2.1.3.3 Captureteorien

I mangel på et bedre norsk ord går captureteorien ut på at månen og jorden har oppstått separat i bane rundt solen og på et tidspunkt blitt fanget i hverandres gravitasjonsfelt (Singer, 1986). Singer viser at det er innenfor fysikkens lover at månen kunne blitt fanget av gravitasjonsfeltet til jorden, men kjemisk virker det usannsynlig at ikke månen og jorden har felles opprinnelse.

2.1.4 Nyere forskning

Nyere forskning virker å bevege seg mot en modifisert nedslagsteori der Theia har truffet jorden mye mer direkte enn tidligere antatt som illustrert i Figur 2. Matija Cuk argumenterer i en metastudie (Cuk, 2018) for at månen mest sannsynlig kommer fra jordens mantel etter en kollisjon med Theia. Jorden og Theia må ha vært godt sammenblandet etter kollisjonen og vært relativt like i isotopisk oppbygning. Han viser også til sterke bevis for at månen tidligere har hatt høyere inklinasjon som stemmer overens med jordens skrå akse. Cuk åpner også for at kollisjonen kan ha gitt jord-måne-systemet mer dreiemoment enn tidligere antatt. Jorden kan ha hatt en rotasjonsperiode på ned mot 2 timer, og mye av denne energien som ikke passer inn i tidligere modeller er antatt absorbert av jord-sol-systemet.

I de fleste tilfeller er forskningen samstemte i hvordan jord-måne-systemet oppførte seg etter opprinnelsen, og det er det som er viktig for resten av prosjektet.



Figur 2 Illustrasjon av den moderne nedslagsteorien, malt av en av forfatterne av den klassiske nedslagsteorien (Hartmann, 2005)

I begynnelsen av jord-måne-systemet var omløpstiden til månen betydelig kortere enn i dag, og jorden roterte betydelig forttere. I de fleste variasjonene av nedslagsteorier beregnes jordens døgnet til rundt 5 timer og månen brukte omtrent 15 timer rundt jorden (det som i dag tar en måned).

Simuleringer i Tabell 1 viser en sannsynlig utvikling av månens omløpsbane.

Tabell 1 Utvikling av månens bane (Noordeh, et al., 2014)

Tid etter formasjon [år]	Eksentrisitet	Omløpstid[timer]
1,000	0.01	15.2
24,000	0.60	35.3
68,000	0.35	15.7
4.5 milliarder	0.05	655.7

I dag bruker månen 27.45 dager rundt jorden i følge Keplers andre lov(1):

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{u}} \quad 1$$

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{(0.3844 \times 10^6 \text{ km})^3}{0.39860 \times 10^6 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}}}$$

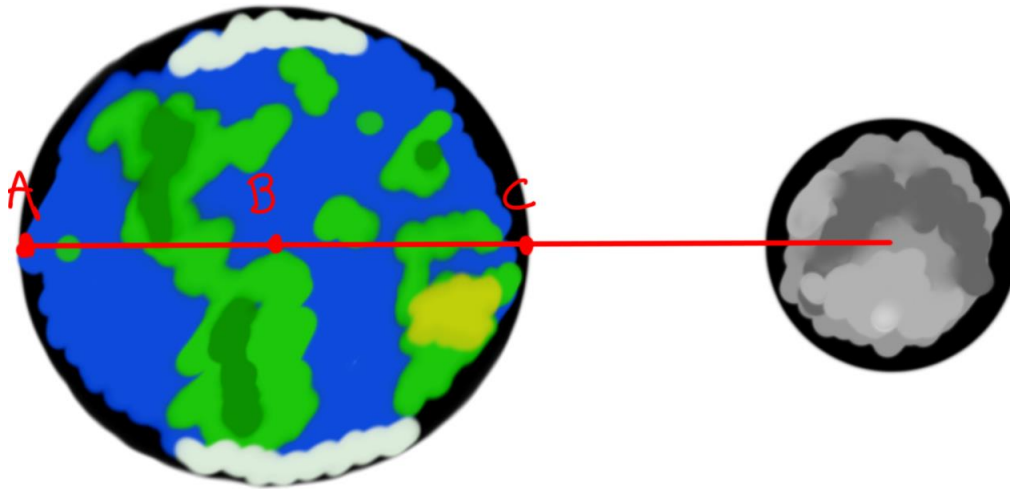
$$P = 2.37184 \times 10^6 \text{ s} = 27.45 \text{ dager}$$

Jorden bruker 23 timer 56 minutter og 4 sekunder rundt sin egen akse (NASA, n.d.). Hovedårsaken til denne utviklingen er det vi kaller tidevannskraften.

2.2 TIDEVANNSKRAFTEN

Tidevannskraften oppstår mellom to himmellegemer på grunn av forskjell i gravitasjonskraften langs linjen i Figur 3. Man regner vanligvis gravitasjonskraft mellom to legemer fra sentrum til sentrum,

men jorden har en radius på ca 6,400 km så det vil være en liten forskjell i gravitasjonskraft mellom punkt A og B, og ennå større forskjell mellom punkt B og C i figuren.



Figur 3 Jord-måne-systemet. (Garmann, 2019)

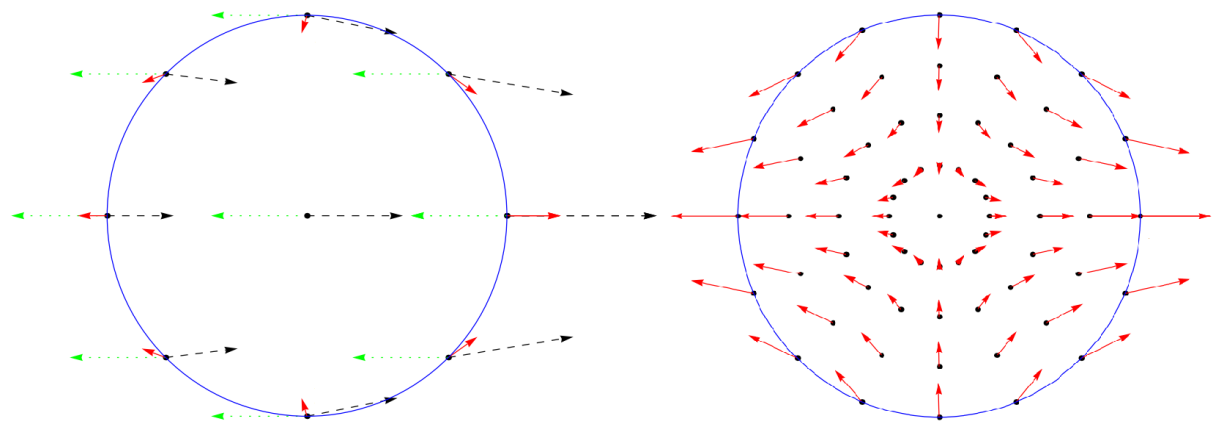
Forskjellen i gravitasjonskraften på en kilo fra månen i punkt A og C er svært liten, men den kan enkelt vises med Newtons gravitasjonslov(2):

$$F_g = \frac{Gm}{r^2} \quad 2$$

$$\Delta F_g = \frac{(6.674 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2})(0.07346 \times 10^{24} \text{kg})}{(0.3844 \times 10^9 \text{m} + 6.4 \times 10^6 \text{m})^2} - \frac{(6.674 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2})(0.07346 \times 10^{24} \text{kg})}{(0.3844 \times 10^9 \text{m} - 6.4 \times 10^6 \text{m})^2}$$

$$\Delta F_g = 2.21 \times 10^{-6} \text{N}$$

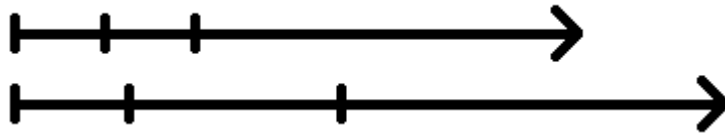
Forskjellen er ikke stor, men dette er hele årsaken til at vi alltid ser samme side av månen. Summen av kreftene på en planet med en måne i nærheten er vist i Figur 4.



Figur 4 Summen av kreftene(svarte) på en planet med en måne i nærheten(til venstre). Tidevannskreftene vises med røde piler. Størrelsene her er overdrevet og perspektiv er ovenfra (Franc, 2012)

Her ser man at det vil oppstå to tydelige områder på hver sin side av planeten der tidevannskreftene peker utover. Dette er flo, mens oppe og nede i figuren er fjære. Det er viktig å påpeke at tidevannskreftene kun er et resultat av det varierende kombinerte gravitasjonsfeltet til jorden og månen, det er ingen andre krefter i spill (Simanek, 2017).

For å forestille seg hvordan kreftene virker kan man tenke seg tre punkter på et strikk hvor man akselerer den ene enden som illustrert i Figur 5. Det punktet nærmes bevegelsen vil bevege seg fortere fra endepunktet enn midtpunktet.



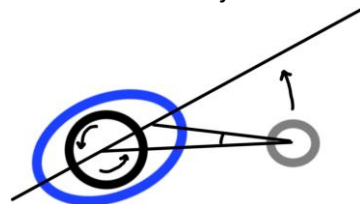
Figur 5 Et endimensjonalt eksempel for å forklare hvordan tidevannskraften påvirker et legeme.

Tidevannkreftene mellom jorden og månen vil da alltid skape et felt på hver side av jorden hvor gravitasjonspotensialet er lavere enn omegn, og flytende vann vil flytte seg mot disse.

Det er ikke bare vann som påvirkes av tidevannskraftene, de påvirker hele himmellegemet og vil også i mindre grad forvrengte solid materie (Simanek, 2017).

2.2.1 Tidevannsakselerasjon

Tilbake til opprinnelsen av jord-måne-systemet skal vi ta for oss hvordan tidevannsfriksjon overfører dreiemoment fra jorden til månen. Månen er ansvarlig for tidevannsbulene på hver sin side av



Figur 6 Jorden roterer rundt sin egen akse og drar tidevannet foran linjen mellom månen og jorden. Overdrevet illustrasjon tegnet av forfatteren.

jorden, men jorden roterer også rundt sin egen akse. Rotasjonstiden er et stjernedøgn, som er lenger enn månen bruker rundt jorden. På grunn av tidevannsfriksjon gjør dette at tidevannsbulen blir dyttet lenger foran linjen mellom månen og jorden. Dette er forsøkt illustrert i Figur 6. Tidevannet har masse og denne forskyvningen vil da i praksis forskyve gravitasjonssenteret til jorden sånn at månen vil få en ørliten prograd kraft. Dette overfører energi fra jordens dreiemoment til månens baneenergi og månens bane vil hele tiden bli litt høyere (Kaula, 1964). Månens

store halvakse utvides for øyeblikket omtrent 3.8 cm i året (Williams, et al., 2014). Jordens rotasjon bremses også av dette samme fenomenet.

Dette er også samme mekanisme som er ansvarlig for at vi kun kan se en side av månen fra jorden. Månen er tidevannslåst til jorden. Det er antatt at månen roterte rundt sin egen akse i begynnelsen (Cuk, 2018), men det varierende gravitasjonsfeltet fra jorden har forvrengt månen etter samme prinsipp og bremsset rotasjonen helt til samme side alltid vises mot oss.

Med samme form for energioverføring mellom himmellegemer er det interessant å se på andre initialbetingelser for binærsystem. Hadde månen gått i bane motsatt vei ville energien gått motsatt vei og den ville til slutt falt under Roche-grensa og gått i oppløsning. Det samme gjelder dersom jorden hadde rotert saktere enn månens omløpstid.

3 AVSLUTNING

3.1 ANALYSE

Det viser seg vanskelig å være sikker på hva sannheten er 4.5 milliarder år tilbake i tid. Forskningen rundt månens opprinnelse er ung, men både månen og jorden følger fysikkens lover så det er gjort betydelige fremskritt de siste 100 årene. Fra Darwins første teori om at jorden og månen i utgangspunktet var ett legeme til i dag hvor man tror månen har oppstått i en massiv kollisjon med en planet på størrelse med Mars er det en rød tråd jeg legger merke til; hvert fremskritt er et resultat av nyere simuleringsmetoder eller analyseringsmetoder. Det er ofte enighet rundt fysikken helt frem til kjemien ikke stemmer.

Det finnes flere forskjellige teorier hvor noen er mindre sannsynlige, men jeg ser at de fleste har vært viktige for utviklingen av hovedteorien som i dag er en modifisert nedslagsteori.

Denne teorien er for så vidt fortsatt under utvikling og jeg legger merke til noen navn som går igjen i forskningen. Dette er forskere som har publisert artikler i mange år der man kan se at senere arbeid kommer i konflikt med tidligere arbeid. De drar i samme retning og er ikke redde for å modifisere teorien etter hvert som man gjør nye oppdagelser. Spesielt Matija Cuk ved SETI har flere nyere publikasjoner med god oversikt over problemstillingen.

Jeg har vært nødt til å bruke god tid på å velge ut sterke og troverdige kilder. Det finnes utrolig mye informasjon om temaet (spesielt tidevann) på internett som er både misvisende og i mange tilfeller direkte feil. Det finnes heldigvis også en del artikler som påpeker disse feilene og det er ikke veldig vanskelig å danne seg et bilde av hva som er troverdig.

3.2 KONKLUSJON

Hovedteorien for månens opprinnelse er en nedslagsteori med modifikasjoner. Teorien setter initialbetingelsene for hvordan jord-måne-systemet utvikler seg. Tidevannskraften har den største påvirkningen av denne utviklingen, og man kan matematisk regne seg tilbake i tid til et middels estimat for forholdene for 4.5 milliarder år siden basert på dette.

Teorien er i stadig utvikling, og endres i takt med nyere forskning.

4 REFERANSER

Anon., u.d. *Solar Days and Sidereal Days*. [Internett]

Available at: https://community.dur.ac.uk/john.lucey/users/e2_solsid.html

[Funnet 15 Mars 2019].

Barboni, M. et al., 2017. Early formation of the Moon 4.51 billion years ago.. *Science Advances*, 3(1).

Cameron, A. G. & Ward, W. R., 1976. The origin of the Moon.. *Lunar and Planetary Science Conference*, Volum 7, pp. 120-122.

Canup, R. M. & Asphaug, E., 2001. An impact origin of the Earth-Moon system. *Nature*, Issue 412, pp. 708-712.

Crida, A. & Charnoz, S., 2012. Formation of Regular Satellites from Ancient Massive Rings in the Solar System. *Science*, 338(6111), pp. 1196-1199.

Cuk, M., 2018. *Reconsidering the Moon's Formation and Tidal Evolution*. Santiago, Diversis Mundi: The Solar System in an Exoplanetary Context.

Franc, T., 2012. Tides in the Earth-Moon System. *WDS*, Volum 12, pp. 98-104.

Garmann, K., 2019. *Jord-måne-systemet*. [Kunst] (UiT).

Hartmann, W. K., 2005. [Kunst].

Hartmann, W. K. & Davis, D. R., 1975. Satellite-sized planetesimals and lunar origin.. *Icarus* 24.4, pp. 504-515.

Kaib, N. A. & Cowan, N. B., 2015. Brief follow-up on recent studies of Theia's accretion. *Icarus*, Volum 258, pp. 14-17.

Kaula, W. M., 1964. Tidal dissipation by solid friction and the resulting orbital evolution. *Reviews of Geophysics*, 2(4), pp. 661-685.

NASA, u.d. *Telling Time by the Stars - Sidereal Time*. [Internett]
Available at: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/Numbers/Math/Mathematical Thinking/telling time by the stars.htm](https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/Numbers/Math/Mathematical%20Thinking/telling_time_by_the_stars.htm)
[Funnet 15 Mars 2019].

Noordeh, E., Hall, P. & Cuk, M., 2014. Simulating the Phases of the Moon Shortly After Its Formation.. *The Physics Teacher*, 52(4), pp. 239-240.

Ruskol, E. L., Ruskol, E. L.. The Tidal History and Origin of the Earth-Moon System. *Soviet Astronomy*, Volum 10, p. 659.

Simanek, D., 2017. *Tidal Misconceptions*. [Internett]
Available at: <https://www.lockhaven.edu/~dsimanek/scenario/tides.htm>
[Funnet 13 Mars 2019].

Singer, S. F., 1986. *Origin of the moon by capture*. Kona, HI, Lunar and Planetary Institute.

Wang, K. & Jacobsen, S., 2016. Potassium isotopic evidence for a high-energy giant impact origin of the Moon. *Nature*, Issue 538, pp. 487-490.

Williams, D. D. R., 2017. *Moon Fact Sheet*. [Internett]
Available at: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>
[Funnet 10 Mars 2019].

Williams, J., Turyshv, S. & Boggs, D., 2014. The past and present Earth-Moon system: the speed of light stays steady as tides evolve. *Planetary Science*, 3(2).

Young, E. D. et al., 2016. Oxygen isotopic evidence for vigorous mixing during the Moon-forming giant impact.. *Science*, Volum 351.6272, pp. 493-496.