

GYMNASIEARBETE**Naturvetenskaps- och teknikprogrammet****Läsåret 2018-19**

Skyddande av jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt

Utforskning och utvärdering av metoder

Författare: Carl Kristian Gomér Torp

Rasmus van Kerkvoorde

Handledare: Lars Rådvall

Abstract

The purpose of this project is to describe and analyze methods for protecting the Earth from an impact of an extraterrestrial object. The information that is juxtaposed during the project will be made available and presented to the public. The project is based on a literary study of relevant information as well as an interview with a professor at the University of Stockholm. The result of the project is that it is impossible to make an unequivocal deduction in which the method that is the best suited is surmised without given prerequisites. The best suited method for the asteroid 99942 Apophis is the method of laser with explosion as a back-up. Our deductions are based on the fact that it is not possible to decide which method is best suited without given prerequisites. The best suited method has to be decided for each specific case as a result of the difference in prerequisites.

Sammanfattning

Syftet med det här arbetet är att beskriva och analysera metoder för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt. Vidare är syftet att tillgängliggöra och presentera den information som sammanställts under projektet. Projektet är baserat på en litterär studie av relevant information samt en intervju genomförd med en professor vid Stockholms universitet. Resultatet av arbetet är att det inte är möjligt att entydigt bestämma vilken metod som är bäst lämpad utan givna förutsättningar. Den bäst lämpade metoden för asteroiden 99942 Apophis är laser med explosion som reserv-metod. Våra slutsatser grundar sig i det faktum att det inte går att bestämma vilken som är den bästa metoden utan att känna till förutsättningarna. Den bäst lämpade metoden måste bestämmas för varje särskilt fall eftersom att förutsättningarna skiljer sig.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING.....	5
Centrala Begrepp.....	6
Bakgrund.....	10
Historia.....	10
Teorier.....	18
Motivering och tillämpning.....	37
Syfte och frågeställningar.....	38
MATERIAL OCH METOD.....	39
Källor och källkritik.....	41
RESULTAT.....	43
Metoder.....	44
Förutsättningar.....	47
Den bäst lämpade metoden för 99942 Apophis.....	50
DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	51
Diskussion.....	51
Metoder.....	52
Metodernas lämplighet utifrån diverse förutsättningar.....	82
Den bäst lämpade metoden för 99942 Apophis.....	88
Slutsats.....	99
Tillkännagivanden.....	100
Källförteckning.....	101
Bilagor.....	114

INLEDNING

Den trettonde april 2029 kommer den gigantiska asteroiden 99942 Apophis kunna slå ner på jordens yta. Asteroiden har en massa på 40 miljarder kg och det potentiella nedslaget är ekvivalent med en energimängd på 1,1 exajoule vilket är detsamma som den sammanlagda kraften i 18 000 hiroshimabomber.¹ Asteroidens förödelse skulle, om den träffar jorden, vara total. Ett område lika stort som Europa skulle ödeläggas. Dessutom skulle dammolnet som bildas påverka jordens klimat under flera tusen år framåt. Rymdforskare har funnit och beräknat asteroidens bana och sannolikheten att den träffar jorden till 0,0004 %. Detta är en betryggande låg sannolikhet. För att sätta det i perspektiv är det mer sannolikt att singla slant och få klave 18 gånger i rad. Dessvärre kommer inte alla asteroid-trajektorior se ut som asteroiden 99942 Apophis. I framtiden kan det färdas asteroider mot jorden vars trajektorior är markant mer livshotande än 99942 Apophis. Vad gör vi om sannolikheten för ett framtida asteroidnedslag är ekvivalent med att få klave vid första kastet? Eller ännu större?

¹ "99942 Apophis (2004 MN4) - ssd.jpl.nasa.gov." <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=99942:cad=1> Öppnades 7 mars. 2019.

Centrala Begrepp

I detta projekt används många centrala begrepp. Eftersom majoriteten av den litteratur som används är internationell, mestadels engelskspråkig, brukas en -för många- främmande terminologi för att beskriva centrala tankar inom ämnet. Här listas de mest centrala begreppen som används i rapporten som inte är till förfogande för den arbiträra människan.

- Asteroid - Asteroider är stora himlakroppar (formellt småplaneter) som har sitt ursprung i asteroidbältet mellan planeterna Mars och Jupiters banor.²
- Bolid - En synnerligen ljusstark meteor.³
- Excentricitet - Ett tal större än 0 som karakteriserar typen och formen av en andragradskurva. I detta arbete tillämpas begreppet främst inom bestämningen av jordnära objekts trajektorier runt jorden.⁴

² "asteroid - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/asteroid>. Öppnades 2 nov.. 2018.

³ "bolid - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bolid>. Öppnades 2 nov.. 2018.

⁴ "excentricitet - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/excentricitet>. Öppnades 12 dec.. 2018.

- Extraterrestriella objekt (EO) - Extraterrestriella objekt betecknas EO och är svensk variant av begreppet "extraterrestrial object" som kan översättas till utomjordiska objekt.^{5,6} Begreppet innefattar de två delbegreppen jordnära objekt samt interstellära objekt som innebär objekt inom respektive utom solsystemet.

- Hillsfären - Det radiella område som omsluter jorden där extraterrestriella objekt utgör ett betydande hot. Om extraterrestriella objekt inträder i hillsfären kan rörelsen mellan EO jorden betraktas som ett tvåkropparsystem.⁷

- Interstellär materia - Materia som finns i rymden mellan stjärnorna⁸

⁵ "extraterrestrial - svensk översättning - bab.la engelskt-svenskt lexikon." <https://sv.bab.la/lexikon/engelsk-svensk/extraterrestrial>. Öppnades 21 feb.. 2019.

⁶ "object - svensk översättning - bab.la engelskt-svenskt lexikon." <https://sv.bab.la/lexikon/engelsk-svensk/object>. Öppnades 21 feb.. 2019.

⁷ Intervju med Markus Janson. 4 december 2018. Se bilaga 1.

⁸ "interstellär materia - Uppslagsverk - NE.se." <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/interstell%C3%A4r-materia>. Öppnades 15 nov.. 2018.

- Jordnära objekt
 - Småplaneter och kometer i den inre delen av solsystemet, med banor som kan ge nära passager och kollisioner med jorden.⁹ Begreppet är en direkt översättning av den engelska termen "Near-Earth Object" (NEO) som myntas i de projektplaner som bland annat NASA tagit fram.

- Komet
 - Kometer är kroppar omgivna av is som befinner sig på långt avstånd från solen.¹⁰

- Småplaneter
 - Småplaneter är små himlakroppar i bana kring solen. De småplaneter som även klassas som jordnära objekt innefattar asteroider.¹¹

⁹ "jordnära objekt - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/jordn%C3%A4ra-objekt>. Öppnades 2 nov.. 2018.

¹⁰ "komet - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/komet>. Öppnades 2 nov.. 2018.

¹¹ "småplanet - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/sm%C3%A5planet>. Öppnades 2 nov.. 2018.

- Trajektorien
 - Trajektorien betecknar den bana en kring vilken en partikel rör sig utmed.¹²

- Utkastmassa
 - Ett annat ord för gaserna som strömmar ut från en raketmotor¹³

¹² Bra Böckers Lexikon, 1980

¹³ "Peter Fortescue - Spacecraft System Engineering", 1995

Bakgrund

Historia

Den teori som det råder konsensus om bland forskare angående anledningen till att dinosauriernas välde över världen avslutades är teorin om asteroidnedslaget¹⁴. Totalt beräknas 65-70% av alla då levande arter ha utrotats. Denna teori som lanserades år 1980 av Walter Alvarez går ut på att en bolid med en diameter på cirka tio till femton kilometer slog ned på Yucatánhalvön vid Mexikanska golfen. Detta skapade den välkända Chicxulubkratern som är cirka 180 kilometer i diameter. Denna himlakroppens energimängd skulle ligga på uppskattningsvis $420 \cdot 10^{21}$ joule vilket är densamma som den sammanlagda kraften i drygt hundratusen 99942 Apophis asteroider. Denna explosion resulterade enorma bränder världen över och sotet från bränderna kombinerat med stoftet från explosionen blockerade solljuset under flera månader, kanske till och med flera år. Utan solljus upphörde fotosyntesen och detta ledde till en kollaps av ekosystemen. Temperaturen sjönk drastiskt som en följd av frånvarande solljus och detta var även en av de bidragande orsakerna till utrotningen. Även megatsunamis skulle bildas då Yucatánhalvön vid den tiden låg vid ett grunt hav. Utöver detta finns tanken om att en superorkan utlöstes. Detta är några av de konsekvenser en asteroid kan ha på jordens fauna. Denna incident är ett av de huvudsakliga incitamenten för att skapa metoder för att förhindra en asteroid-kollision.¹⁵

Dandridge M. Cole och Donald W. Cox noterade 1964 i sin bok, *Islands in Space*, farorna med asteroid-kollisioner. De argumenterade för att katalogisera småplaneter och utveckla tekniker för att landa på, avleda eller fånga in asteroider.

¹⁶ Det första astronomiska projektet dedikerat till att upptäcka och identifiera

¹⁴ "Nu är det fastslaget – Dinosaurierna utrotades av ... - SVT Nyheter." 5 mars. 2010, <https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/nu-ar-det-fastslaget-dinosaurierna-utrotades-av-meteoritnedslaget>. Öppnades 17 okt.. 2018.

¹⁵ "Rapid (10-yr) recovery of terrestrial productivity in a ... - Science Direct." 15 okt.. 2001, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X01004472>. Öppnades 8 apr.. 2019.

¹⁶ "Islands in Space" Dandridge M. Cole och Donald W. Cox, sidor 7-8. 1964.

jordnära objekt (främst asteroider avseddes i detta sammanhang) var Paloma Planet-Crossing Asteroid Survey som startade 1973 av astronomerna Eugene Shoemaker och Eleanor Helin.¹⁷

På 1980-talet började NASA undersöka konsekvenser av tidigare asteroid-kollisioner såsom den vid Yucatánhalvön. Då insåg de att ett program som kartlägger alla jordnära objekt som är stora nog att orsaka stor skada är nödvändigt. Detta ledde till att den amerikanska staten 1992 sponsrade den så kallade "Near-Earth-Object Interception Workshop"¹⁸, ett program som skulle utvärdera de problem som kunde uppstå av jordnära objekt som potentiellt kunde slå ner på jorden. Under samma år uppmanades NASA att utföra en sammanhängande rymdsskydds-undersökning vars syfte var att identifiera och kartlägga 90% av alla jordnära objekt som har en diameter större än 1 kilometer inom 25 år. År 1998 ändrade NASA sitt mål till att fullgöra kartläggningen vid år 2008. Valet av gränsen för minsta diametern gjordes efter att forskning visat att ett nedslag på jorden av ett jordnära objekt mindre än 1 kilometer i diameter inte skulle tillföra globala katastrofer, endast stora förödelser på regional nivå.¹⁹ Jordnära objekt större än 1 kilometer i diameter kan leda till världsomfattande katastrofer och ansågs viktigast att katalogisera först.

Den amerikanske kongressmannen George E. Brown Jr sägs ha, för sin beundran och stöd till "planetary defense projects", yttrat det berömda citatet "If some day in the future we discover well in advance that an asteroid that is big enough to cause a mass extinction is going to hit the Earth, and then we alter the course of that asteroid so that it does not hit us, it will be one of the most important

¹⁷ "Earth-Approaching Asteroids as Targets for Exploration (1978) | WIRED." 23 mars. 2013, <https://www.wired.com/2013/03/earth-approaching-asteroids-as-targets-for-exploration-1978/>. Öppnades 14 nov.. 2018.

¹⁸ "Proceedings of the Near-Earth-Object Interception Workshop." <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930019383>. Öppnades 10 okt.. 2018.

¹⁹ "The Spaceguard Survey - Report of the NASA International ... - Internet Archive." 25 Januari. 1992, https://ia800304.us.archive.org/29/items/nasa_techdoc_19920025001/19920025001.pdf. Öppnades 2 nov.. 2018.

accomplishments in all of human history"²⁰. Med hänsyn till Browns långvariga engagemang inom arbetet av skyddet mot nedslag av jordnära objekt namngavs ett representationshus till hans ära. Representationshuset fick sedan ett omfattande projekt att genomföra, identifiera, kartlägga och kategorisera samtliga jordnära objekt med en diameter större än 140 meter. Detta är fortfarande pågående och väntas vara klart år 2020.²¹ Ett framgångsrikt resultat från detta projekt skulle resultera i vår vetenskap om samtliga jordnära objekt med risk att kollidera med jorden vars potentiella ödeläggelse på jorden skulle vara större än lokala skador och förödelser.

I juni 2018 presenterade NASA en ny plan, "National Near-Earth Object Preparedness Strategy and Action Plan"²², som fullständigt ska förbereda mänskligheten för potentiella nedslag av jordnära objekt på jorden någon gång i framtiden. Planen är uppdelad i fem huvudmål för att sträva efter total förberedelse:

Mål 1 har benämnts målet att förbättra upptäckten, kartläggningen och kategoriseringen av jordnära objekt. Med detta mål vill NASA sikta på att leda utvecklingen av projektplan för att förbättra de olika kriterierna som ingår för att skydda jorden mot jordnära objekt; identifiering, kartläggning och kategorisering. Stödåtgärder kommer att minska den osäkerhet som för tillfället råder samt hjälpa till för att nå en mer precis modellering och effektivare beslutsfattanden.

²⁰ "The Asteroid Impact Hazard: Historical Perspective | Solar System"

<https://sservi.nasa.gov/articles/the-asteroid-impact-hazard-historical-perspective/>. Öppnades 15 nov.. 2018.

²¹ "NEAR-EARTH OBJECTS (NEOs) – STATUS OF... - Wayback machine" November 8. 2007, https://web.archive.org/web/20080131081137/http://democrats.science.house.gov/media/File/Commitdocs/hearings/2007/space/08nov/Yeomans_testimony.pdf Öppnades 2 nov.. 2018.

²² "National Near-Earth Object Preparedness Strategy and Action Plan." <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/06/National-Near-Earth-Object-Preparedness-Strategy-and-Action-Plan-23-pages-1MB.pdf>. Öppnades 14 nov.. 2018.

Mål 2 handlar om att förbättra modelleringen, förutsägbarheten och integrationen av information vad gäller jordnära objekt. Målet ska uppnås genom att flera olika byråer samordnar utvecklingen av validerade modelleringsverktyg och simuleringsmöjligheter som hjälper till att kategorisera och minimera risken för nedslag av jordnära objekt. Dessutom ska dataöverföring rationaliseras för att stödja effektivare beslutsfattande.

Mål 3 går ut på att utveckla teknologier för uppdrag som ska avleda jordnära objekt. NASA kommer att föra utvecklingen av teknologierna för uppdrag såsom snabb-respons jordnära objekt igenkännings uppdrag samt lägliga uppdrag för att avleda farliga jordnära objekt. Att utveckla dessa teknologier före ett nära förestående hot uppstår kommer stärka vår möjlighet att förhindra katastrofer innefattande nedslag av jordnära objekt.

Mål 4 går ut på att öka det internationella samarbetet angående jordnära objekt förberedelse: Myndigheter kommer att arbeta med att informera och utveckla internationellt stöd för att adressera global jordnära objekts kollisioner-risker. Internationell överenskommelse och samarbete kommer att hjälpa nationen (USA) med att förbereda sig mer effektivt för ett potentiell nedslag av jordnära objekts.

Mål 5 går ut på att stärka och rutinartat utöva jordnära objekt-kollisioners nödsituations procedur och åtgärdsprotokoll: Amerikas förenta stater kommer att stärka och utöva procedurer och protokoll för att utvärdera jordnära objekts hot, kommunikation angående hot, samt respons och återhämtningsåtgärder. Koordinerad kommunikation och underrättelse inom USA:s regering och med utländska regeringar kommer att förbättra förberedelsen för kollisioner i nödfall och reducera den fysiska och ekonomiska skadan på nationen (USA).

NASA anser att om alla dessa mål skulle uppnås skulle förberedelserna och möjligheterna att motverka nedslag och övriga hot relaterat till jordnära objekt öka markant.

I flera decennier har forskare jobbat med att identifiera och kartlägga jordnära objekts positioner och trajektorier. Detta har varit ett mycket lyckat arbete och kommer fortsättningsvis ge oss information om var och när ett jordnära objekt kommer slå ned på jorden. Just nu är den mest troliga incidenten 99942 Apophis som alltså med största sannolikhet inte kommer att slå ned på jorden. Asteroidens eventuella hastighet vid nedslaget skulle vara 7433 m/s.¹ Dessa program arbetar endast med så kallade jordnära objekt som kretsar runt solen i vårt solsystem vintergatan, inte interstellär materia som träder in i vårt solsystem. Dessa kan ses som ännu farligare då de ofta har högre hastigheter och kommer därmed frigöra en större energimängd vid eventuell nedslag på jordytan. Ett potentiellt nedslag av interstellär materia skulle vara värre i det avseende att vi skulle känna till faran väldigt sent i sammanhanget, troligtvis inom några få månader före det potentiella nedslaget.²³ På grund av det kontinuerliga hotet om inkommande interstellära material kommer en fullständig kartläggning av alla de potentiella objekt som kan komma att slå ned på jorden inte kunna ske inom en snar framtid.

Metoderna som finns för att skydda jorden från ett nedslag av EO har historiskt sett delats in i två grupper: Avvärjande och obliterande.^{24,25} Avvärjande metoder innefattar metoderna kollision, gravitationsdragning, motor och laser. Dessa metoder går ut på att sänka eller öka hastigheten på EO och på så sätt ändra dess

²³ ["Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects"](#) (PDF). British National Space Center. Retrieved 2008-10-21., p. 12.

²⁴ C. D. Hall and I. M. Ross, "Dynamics and Control Problems in the Deflection of Near-Earth Objects," *Advances in the Astronautical Sciences, Astrodynamics 1997*, Vol.97, Part I, 1997, pp.613–631.

²⁵ Solem, J. C. (2000). "Deflection and disruption of asteroids on collision course with Earth". *Journal of the British Interplanetary Society*. 53: 180–196. Bibcode:2000JBIS...53..180S.

trajektorier. Avvärjande metoder utnyttjar det faktum att både jorden och EO befinner sig i omloppsbana (notera att EO inte nödvändigtvis behöver befinna sig i omloppsbana kring jorden). En kollision mellan EO och jorden inträffar då de befinner sig i samma punkt i rymden vid en viss tidpunkt, eller mer exakt när någon del av jordens yta befinner sig i EO:s omloppsbana då EO anländer till en specifik punkt. Då Jordens diameter i genomsnitt är ca 12 744 km och den har en medelomloppshastighet i förhållande till solen på 29 783 m/s så innebär det att Jorden färdas en Jord-diameter på cirka 425 sekunder, eller lite över 7 minuter.²⁶ Då de alternativ som finns för att avvärja EO är att öka eller sänka hastigheten på EO så innebär det att EO måste sänka eller öka hastigheten på så sätt att dess beräknade tid till den ursprungliga kollisionspunkten saktas in eller snabbas upp med som mest 213 sekunder. Detta då valet mellan att öka eller sänka hastigheten förändras beroende på var den beräknas träffa jorden. Om den beräknas träffa jorden innan mittpunkten vågrätt mot EO bör en tidsminskande avvärjning genomföras. Om den istället beräknas träffa efter jordens mittpunkt vågrätt mot EO bör en tidsökande avvärjning genomföras. Dock är dessa siffror endast beräknade för en nära miss av EO sett från Jorden.

För att EO inte ska återvända vid ett senare tillfälle behöver excentriciteten vara större än 1; det vill säga den ska inte befinna sig i en sluten bana runt Jorden.⁷ Anledningen till att detta tillvägagångssätt är förkastlig är för att EO kommer att saktas in som resultat av den nära passagen, då den träffar Jordens atmosfär. Detta kommer att sänka hastigheten och då dess riktning är densamma kommer excentriciteten minska. Om den då blir mindre än 1 så kommer den att befinna sig i en bana runt Jorden. Detta medför att den kan återvända vid ett senare tillfälle och även om den inte träffar Jorden vid nästa passage så kommer hastigheten att sänkas ytterligare. Detta händelseförlopp kan fortskrida ett antal gånger tills det att dess hastighet har saktats in tillräckligt för att den kan komma att kollidera

²⁶ Williams, David R. (1 september 2004). "Earth Fact Sheet". NASA.

med Jorden. Därmed bör avståndet mellan Jordens yta och EO vara på ett avstånd där atomernas densitet är mycket liten.²⁷ Det avstånd som bör ses som säkert är det avstånd där Jordens atmosfär inte längre anses finnas. Denna del av atmosfären börjar på cirka 10 000 kilometers höjd och är den del ovanför exosfären, vilket är den sista delen av Jordens atmosfär.²⁷ Därmed kan man säga att Jorden passerar en hel Jorddiameter (12 744 km) adderat med höjden då atmosfären slutar på båda sidor om Jorden (20 000 km) på 1099 sekunder, vilket är drygt 18 minuter. En acceleration eller retardation vilket leder till en tidsförändring på 1099 sekunder skulle därmed ses som tillräcklig. Vilken sida respektive metods kraft ska insättas är beroende av var EO förväntas träffa Jorden. Detta betyder att kraften ska insättas 180° mot EO:s hastighetsvektor om EO förväntas träffa efter mitten av Jordens mittlinje, det vill säga om EO behöver retardera. På motsvarande sätt ska kraften insättas i linje med EO:s hastighetsvektor om EO förväntas träffa innan mitten av Jordens mittlinje, det vill säga om EO behöver accelerera.

Oblitererande metoder innefattar metoden explosion. Denna typ av metoder går ut på att förstöra EO och därmed splittra upp den i mindre delar som brinner upp i atmosfären. Vid destruktionsen av EO kommer ett så kallat meteoritregn skapas vilket innebär att massvis med små meteoriter faller ned mot jordens yta. För att de oblitererande metoderna ska vara framgångsrika måste all den material som skapas vid EO:s destruktionsen brinna upp i atmosfären. Exakt hur små meteoriterna måste vara för att inte nå jordytan är svårt att avgöra då flera olika faktorer spelar in, såsom materialets massa, ingångshastighet i jordens atmosfär och friktionstalet mot luften i atmosfären.²⁸ Dock så finns det källor som säger att de flesta meteoriterna som är mindre än bilar, vilket är ungefär en massa på 1000 kg och en träffarea mot jordytan på ungefär 8 m²,²⁹ brinner upp i atmosfären.³⁰ Vid

²⁷ "exosfären - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/exosf%C3%A4ren>. Öppnades 6 feb.. 2019.

²⁸ "How big does a meteor have to be to make it to the ground? - Science"

<https://science.howstuffworks.com/question486.htm>. Öppnades 28 feb.. 2019.

²⁹ "AutomobileDimensions." <https://www.automobiledimension.com/>. Öppnades 28 feb.. 2019.

incidenter där delarna av EO är större än så skulle det finnas befintliga risker för mer eller mindre skadliga konsekvenser på jorden. Vid destruktionsen av EO måste alltså de upplösta materialen vara av tillräckligt liten storlek för att brinna upp i atmosfären.

³⁰ "Here's how much damage an asteroid would cause if it hit earth - Business Insider"
<https://www.businessinsider.com/asteroid-damage-hit-land-earth-video-2016-10?r=US&IR=T&IR=T>. Öppnades 28 feb.. 2019.

Teorier

I detta projekt används många olika begrepp, teorier och samband som bland annat används vid förklaringen om respektive metods funktion samt vid resonemang kring deras lämplighet utifrån givna förutsättningar. I följande underrubrik presenteras och förklaras de begrepp, teorier och samband som används i detta projekt.

Newton's tredje lag

Newton's tredje lag, också kallad lagen om verkan och återverkan, lyder som följer: "Om en kropp påverkar en annan med en given kraft, återverkar den senare kroppen på den förra med en lika stor men motsatt riktad kraft".³¹ Detta betyder att alla krafter kommer i par och att alla krafter har en reaktionskraft.

Centralrörelse

Centralrörelse är inom mekaniken ett objekts rörelse under inflytande av en kraft som alltid verkar inåt mot en centralpunkt som objektet rör sig kring.³² Den kraft som verkar inåt mot mittpunkten är centripetalkraften och dess motriktade kraft, som uppstår till följd av Newton's tredje lag som förklaras ovan, är centrifugalkraften. Centripetalkraften utgörs av olika krafter beroende på olika scenarion. Exempelvis är centripetalkraften spännkraften i ett snöre vars ena ände är fäst i ett objekt som roterar kring en given punkt eller en planets gravitationskraft mot en av dess månar som rör sig i omloppsbana runt den. Formeln för centripetalkraft är följande:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

³¹ "dynamik - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dynamik>. Öppnades 11 jan.. 2019.

³² "centralrörelse - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/centralr%C3%B6relse>. Öppnades 1 mars. 2019.

där F representerar centripetalkraften, m representerar massan för objektet i fråga, v representerar objektets hastighet som är vinkelrät mot kraftvektorn och r är radien på den cirkeln som objektet rör sig runt.

Rörelsemängd

Rörelsemängd är en vektorstorhet som verkar på kroppar och mäts i enheten kilogram meter per sekund.³³ Rörelsemängd betecknas p och beskrivs enligt följande samband:

$$p = mv$$

där m är massan för den avsedda kroppen och v är hastigheten hos den avsedda kroppen. Rörelsemängden är som sagt en vektor som verkar i samma riktning som hastigheten i fråga. Om inga yttre krafter verkar på kroppen och därmed den resulterande kraften är lika med 0 kommer rörelsemängden för kroppen att vara konstant.

Impuls

Impuls är en fysikalisk storhet som bestäms av produkten av kraften som påverkar ett objekt och tiden som kraften verkar på kroppen. Den kan beskrivas som integralen av kraften med avseende på tiden enligt följande:

$$I = \int_{t_2}^{t_1} F dt$$

Impulsen är ekvivalent med förändringen av rörelsemängden innan och efter impulsverkan.³⁴

$$\Delta p = I$$

Därmed kan följande samband skrivas upp.³⁵

³³ "rörelsemängd - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/r%C3%B6relsem%C3%A4ngd>. Öppnades 11 feb.. 2019.

³⁴ "impuls - Uppslagsverk - NE.se."

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/impuls>. Öppnades 16 jan.. 2019.

³⁵ Alphonse, Rune, och Helen Pilström. Formler och tabeller. Natur & Kultur, 2016

$$\Delta p = F \times t$$

Detta innebär att impulsen är vad som ändrar rörelsemängden hos föremål.

Kollision

En kollision (stöt) är ett fysikaliskt fenomen där två eller flera kroppar sammanstöter med varandra. Vid kollisioner i ett slutet system kommer den sammanlagda rörelsemängden av kropparna bevaras och omfördelas mellan kropparna efter kollisionen.³⁶ Anledningen kan förklaras med hjälp av Newtons tredje lag. Vid tidpunkten för kollisionen kommer objekt A påverka objekt B med kraften F_{AB} samtidigt som objekt B kommer påverka objekt A med kraften F_{BA} . Enligt Newtons tredje lag kommer absolutbeloppet av dessa krafter vara lika stora, dock riktade åt motsatt håll. Då fås:

$$|F_{ab}| = |F_{ba}|$$

Eftersom krafterna är riktade åt olika håll, i detta fall motsatt, kan följande samband skrivas:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

Tiden för kontakten av de två kropparna kommer att vara t_{AB} samt t_{BA} där den förstnämnda representerar tiden för objekt A:s kontakt med objekt B och den sistnämnda representerar objekt B:s kontakt med objekt A. Dessa tider kommer att variera utifrån en rad faktorer som exempelvis objektens elasticitet. Hursomhelst kommer de alltid att vara lika stora vilket ger följande samband:

$$t_{AB} = t_{BA}$$

Följaktligen kommer impulsen som påverkar respektive objekt vara $F_{AB}t_{AB}$ och $F_{BA}t_{BA}$. Eftersom att kraftriktningen är motsatta för de två objekten enligt:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

³⁶ "What is conservation of momentum? (article) | Khan Academy."
<https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-linear-momentum/conservation-of-momentum-and-elastic-collisions-ap/a/what-is-conservation-of-momentum>. Öppnades 11 jan.. 2019.

kommer sambandet mellan objektens impulser under kollisionen beskrivas enligt sambandet:

$$F_{AB}t_{AB} = -F_{BA}t_{BA}$$

Eftersom impulsen är densamma som skillnaden i rörelsemängd, vilket förklaras i samband med begreppet impuls, kommer skillnaden i rörelsemängd för de två objekten vara densamma fast riktade åt motsatt riktning, enligt följande samband:

$$\Delta p_a = -\Delta p_b$$

Detta medför slutligen att summan av skillnaden i rörelsemängd är lika med 0,

$$\Delta p_a + \Delta p_b = 0$$

Skillnaden i rörelsemängden kommer alltså att bevaras efter kollisionen.

Det finns tre olika typer av kollisioner som presenteras och förklaras nedan.

Fullständigt oelastisk kollision

En fullständigt oelastisk kollision är en kollision där rörelsemängden bevaras men inte den kinetiska energin. Dessutom kommer de två berörande kropparna vid kollisionen sammansättas efter kontakten.³⁷ Till exempel skulle en sådan kollision kunna uppstå om den ena kroppens framkant utgjordes av en vass spets som tränger in och fästs i den andra kroppen. Efter kollisionen kommer den nya ihopsatta kroppens massa vara detsamma som summan av de två enskilda kropparnas massa före kollisionen eftersom att de då har slagits samman till ett gemensamt objekt och ingen massa går förlorad.

Eftersom den sammanlagda rörelsemängden för de båda objekten som ingår i kollisionen kommer att bevaras efter kollisionen kan följande

³⁷ "Exempel på fullständigt oelastisk stöt - Fysikguiden.se." 20 nov.. 2016, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-fullstandigt-oelastisk-stot/>. Öppnades 11 feb.. 2019.

samband ställas upp som visar relationen mellan objektens massa och hastighet före respektive efter kollisionen:

$$m_a v_{a1} + m_b v_{b1} = (m_a + m_b) v_{ab2}$$

Där m_a är massan för objekt A, m_b är massan för objekt B, v_{a1} är hastigheten för objekt A före kollisionen, v_{b1} är hastigheten för objekt B före kollisionen och v_{ab2} är hastigheten för det sammanlagda objektet AB efter kollisionen. Eftersom de två objekten sammanfogas i och med en fullständigt oelastisk kollision kommer den resulterande rörelsemängden efter kollisionen endast gestaltas av ett sammanlagt objekt, där objektets massa är densamma som summan av massan för objekt A respektive objekt B. Sambandet kan då skrivas om till följande:

$$m_a v_{a1} + m_b v_{b1} = m_a v_{ab2} + m_b v_{ab2}$$

$$m_a v_{a1} - m_a v_{ab2} = m_b v_{ab2} - m_b v_{b1}$$

Vilket kan skrivas om till:

$$m_a(v_{a1} - v_{ab2}) = m_b(v_{ab2} - v_{b1})$$

Detta samband som utarbetats innebär att massan för objekt A multiplicerat med differensen av v_a och v_{ab} är detsamma som massan för objekt B multiplicerat med differensen av v_{ab} och v_b . Eftersom att de båda massorna är positiva värden måste alltså antingen v_a vara större än v_{ab} samtidigt som v_{ab} är större än v_b eller v_a vara mindre än v_{ab} samtidigt som v_{ab} är mindre än v_b . Hastigheten som det sammanlagda objektet AB har efter en kollision kommer alltså att vara ett värde som är inom intervallet för de värden som hastigheterna för respektive objekt före kollisionen antar.

Elastisk kollision

En elastisk kollision är en kollision där både rörelsemängden och den kinetiska energin bevaras efter kollisionen. I en elastisk kollision kommer de två kropparna vara enskilda kroppar efter kollisionen, till skillnad från i

en fullständigt oelastisk kollision.³⁸ Unikt för elastiska kollisioner är att det knappt finns några sådana i denna ofullkomliga värld. På atomnivå kan enstaka fall ske men i större utsträckning sker inte några äkta elastiska kollisioner. Anledningen till detta är eftersom objekten deformeras vid kollisionen och värme utsöndras, vars energi kommer från objektens rörelseenergi före kollisionen.³⁹

Eftersom den sammanlagda rörelsemängden för de båda objekten som ingår i kollisionen kommer att bevaras efter kollisionen kan följande samband ställas upp som visar relationen mellan objektens massa och hastighet före respektive efter kollisionen:

$$m_a v_{a1} + m_b v_{b1} = m_a v_{a2} + m_b v_{b2}$$

Där m_a är massan för objekt A, m_b är massan för objekt B, v_{a1} är hastigheten för objekt A före kollisionen, v_{b1} är hastigheten för objekt B före kollisionen, v_{a2} är hastigheten för objekt A efter kollisionen och v_{b2} är hastigheten för objekt B efter kollisionen. Sambandet kan då skrivas om till följande:

$$m_a v_{a1} - m_a v_{a2} = m_b v_{b2} - m_b v_{b1}$$

Vilket kan skrivas om till:

$$m_a (v_{a1} - v_{a2}) = m_b (v_{b2} - v_{b1})$$

Som i sin tur skrivs om till:

$$m_a (-\Delta v_a) = m_b \Delta v_b$$

Detta samband som utarbetats innebär att massan för objekt A multiplicerat med det negativa värdet av delta v_a (differensen av v_{a1} och v_{a2}) är detsamma som massan för objekt B multiplicerat med delta v_b

³⁸ "Exempel på elastisk stöt - Fysikguiden.se." 20 nov.. 2016, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-elastisk-stot/>. Öppnades 11 feb.. 2019.

³⁹ "What are elastic and inelastic collisions? (article) | Khan Academy." <https://www.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/elastic-and-inelastic-collisions/a/what-are-elastic-and-inelastic-collisions>. Öppnades 18 dec.. 2018.

(differensen av v_{b2} och v_{b1}). Eftersom de båda massorna har positiva värden måste alltså antingen delta v_a eller delta v_b ha ett negativt värde, dock behöver nödvändigtvis inte delta A vara negativt eftersom det kan vara positivt vilket då gör att delta B blir negativt.

Oelastisk kollision

En oelastisk kollision är en kollision där rörelsemängden bevaras men inte den kinetiska energin, likt den fullständigt oelastiska kollisionen. Dock, till skillnad från den fullständigt oelastiska kollisionen, kommer de två kropparna vara enskilda kroppar efter kollisionen.⁴⁰

På samma sätt som vid den elastiska kollisionen kan följande samband ställas upp som visar relationen mellan objektens massa och hastighet före och efter kollisionen:

$$m_a v_{a1} + m_b v_{b1} = m_a v_{a2} + m_b v_{b2}$$

Där m_a är massan för objekt A, m_b är massan för objekt B, v_{a1} är hastigheten för objekt A före kollisionen, v_{b1} är hastigheten för objekt B före kollisionen, v_{a2} är hastigheten för objekt A efter kollisionen och v_{b2} är hastigheten för objekt B efter kollisionen. Sambandet kan efter en rad förenklingar skrivas om till följande (jämför med elastisk kollision):

$$m_a(-\Delta v_a) = m_b \Delta v_b$$

Detta samband som utarbetats innebär att massan för objekt A multiplicerat med det negativa värdet av delta v_a (differensen av v_{a1} och v_{a2}) är detsamma som massan för objekt B multiplicerat med delta v_b (differensen av v_{b2} och v_{b1}). Då båda massorna har positiva värden måste alltså antingen det negativa värdet av delta v_a eller delta v_b ha ett negativt värde. Notera att detta samband är detsamma som sambandet för elastisk kollision. Dock bevaras inte rörelseenergin vid kollisionen vilket gör att

⁴⁰ "Exempel på oelastisk stöt - Fysikguiden.se." 20 nov.. 2016, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-oelastisk-stot/>. Öppnades 11 feb.. 2019.

avvikelsen av objektens hastighetsvektorer minskar. Detta förklaras tydligare längre fram i avsnittet.

De resterande paragraferna som behandlar kollision som teori i inledningen är en ingående fördjupning på fenomenet som krävs för att få en ökad och specialiserad förståelse av metoden i sig. Dock är följande paragrafer inte nödvändiga för att förstå projektet som helhet. Nästkommande teori som behandlas är Newtons gravitationslag och återfinns på sidan 30.

Kollisioner kan ske i olika dimensioner. Den enklaste av alla kollisioner är en kollision i 1 dimension, alltså en kollision där objekten rör sig utifrån endast en hastighetsvektor, antingen framåt eller bakåt. En kollision i 1 dimension kommer alltså att ske genom att objekt A och objekt B åker i en riktning direkt mot varandra relativt till varandra. Följden av en endimensionell kollision skiljer sig beroende på vilken typ av kollision det är. För att exempelvis objekt A ska få objekt B att vända i en fullständigt oelastisk kollision måste absolutbeloppet av rörelsemängden före kollisionen vara större hos objekt A än hos objekt B enligt följande samband.

$$|m_A v_{A1}| > |m_B v_{B1}|$$

Eftersom att den resulterande rörelsemängden verkar i samma riktning som objekt A före kollisionen kommer även den resulterande rörelsemängden verka i den riktningen efter kollisionen. Detta medför att då objekt A har en större rörelsemängd än objekt B före kollisionen kommer det sammanlagda objektet AB efter kollisionen att ha den riktningen som objekt A hade före kollisionen.

För en elastisk kollision är det inte lika enkelt att säga någonting om följderna efter en eventuell kollision. Det som dock kan antas är att om objekt A ska få objekt B att vända ska absolutbeloppet av rörelsemängden för objekt A före kollisionen vara större än absolutbeloppet för objekt B före kollisionen. Detta

kommer att garantera att objekt B vänder hastighetsriktning eftersom att den resulterande rörelsemängden är i samma riktning som objekt A antog före kollisionen. Dock går det inte att garantera att objekt A kommer att färdas i samma riktning som objekt B efter kollisionen. För att beräkna följderna av objekt A efter kollisionen måste den kinetiska energin tas hänsyn till. Den kinetiska energin ges av sambandet:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Som tidigare förklarat kommer den sammanlagda kinetiska energin bevaras i en elastisk kollision. Det innebär att följande samband kan ställas upp.

$$\frac{m_a v_{a1}^2}{2} + \frac{m_b v_{b1}^2}{2} = \frac{m_a v_{a2}^2}{2} + \frac{m_b v_{b2}^2}{2}$$

vilket skrivs om till följande:

$$m_a v_{a1}^2 - m_a v_{a2}^2 = m_b v_{b2}^2 - m_b v_{b1}^2$$

som i sin tur skrivs om till:

$$m_a(v_{a1}^2 - v_{a2}^2) = m_b(v_{b2}^2 - v_{b1}^2).$$

Det övre sambandet innebär alltså att differensen av kvadraten av hastigheten för objekt A före kollisionen och kvadraten av hastigheten för objekt A efter kollisionen samt differensen av kvadraten av hastigheten för objekt B efter kollisionen och kvadraten av hastigheten för objekt B före kollisionen är av samma tecken, det vill säga antingen positiva eller negativa. Denna slutsats kan dras eftersom massorna för respektive objekt är definierade som positiva värden. För att objekt A ska färdas i samma riktning efter kollisionen som före kollisionen (det som definierats som positiv riktning) kan föregående likhet ställas upp återigen:

$$m_a(v_{a1}^2 - v_{a2}^2) = m_b(v_{b2}^2 - v_{b1}^2),$$

Eftersom m_a och v_{a1} är positiva värden kommer vänsterledet att vara positivt om:

$$v_{a1}^2 > v_{a2}^2$$

vänsterledet kommer vara negativt om:

$$v_{a1}^2 < v_{a2}^2$$

och vänsterledet kommer vara lika med 0 om:

$$v_{a1}^2 = v_{a2}^2$$

Eftersom v_{a2} måste vara mindre än v_{a1} på grund av att det är en endimensionell elastisk kollision kommer vänsterledet vara positivt. Då följer även att högerledet är positivt:

$$m_a(v_{b2}^2 - v_{b1}^2) > 0$$

Eftersom massan är positiv följer att:

$$v_{b2}^2 - v_{b1}^2 > 0$$

Som i sin tur leder till:

$$v_{b2}^2 > v_{b1}^2$$

Detta samband förklarar att hastigheten för objekt B efter kollisionen är större än hastigheten för objekt B före kollisionen. Då värdet för hastigheten av objekt B före kollision är negativt kommer hastigheten av objekt B efter kollisionen närma sig den hastighetsriktning som objekt A har före kollisionen.

Värdemängden av v_{a2}^2 är alltså:

$$v_{a2}^2 < v_{a1}^2$$

och värdemängden av v_{b2}^2 är:

$$v_{b2}^2 > v_{b1}^2$$

Den kinetiska energin kommer avgöra de två objektens avvikelse från varandra efter kollisionen. Detta påstående kommer att tydliggöras och förklaras med figurer och beskrivningar nedan.



$$m_a = ?$$

$$m_b = ?$$

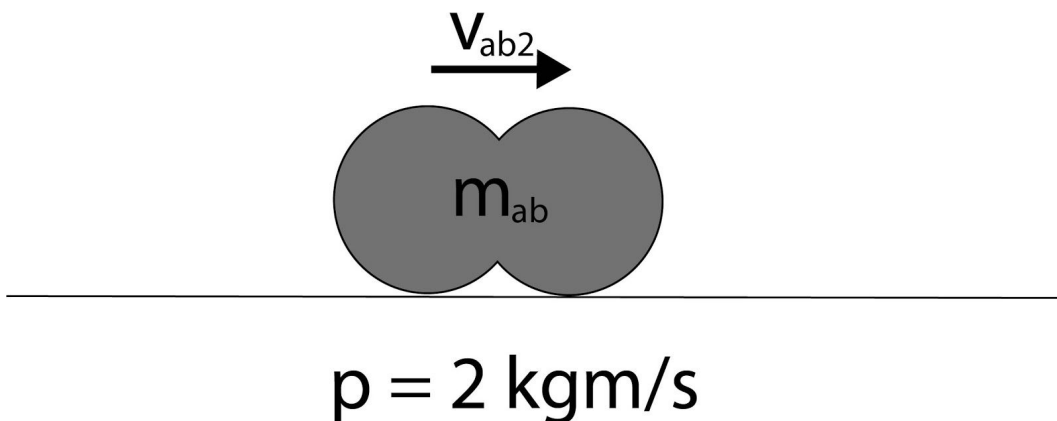
$$v_{a1} = ?$$

$$v_{b1} = ?$$

$$p = 2 \text{ kgm/s}$$

Figur 1. Illustrationen visar en endimensionell situation före en kollision mellan två objekt där samtliga storheter har okända värden, med undantag för rörelsemängden som är 2 kgm/s.. Koordinataxlarna är utformade så att uppåt respektive höger är positiva riktningar i figuren.

Enligt illustrationen ovan (se figur 1) är värdena för massan respektive hastigheten före kollisionen för de två ingående objekten okända. Det enda kända vid kollisionen är att den resulterande rörelsemängden är 2 kgm/s (notera att värdet är positivt, det vill säga att rörelsemängden är riktad åt höger). Värdet av rörelsemängden i scenariot är fullständigt godtyckligt och anledning till att värdet utsetts är enbart för att förtydliga scenariot; värdet i sig har alltså ingen betydelse. Om kollisionen är en fullständigt oelastisk kollision kommer objekten att röra sig gemensamt åt höger efter kollisionen med en rörelsemängd på 2 kgm/s (se figur 2).



Figur 2. Illustrationen visar en endimensionell situation efter en fullständigt oelastisk kollision mellan två objekt där samtliga storheter har okända värden med undantag för rörelsemängden som är 2 kgm/s. Koordinataxlarna är utformade så att uppåt respektive höger är positiva riktningar i figuren.

Trots att samtliga värden för massa respektive hastighet före kollisionen är okända, kan den hastighet som det ihopsatta objektet har beskrivas enligt följande:

$$v_{ab2} = \frac{2}{(m_{ab})}$$

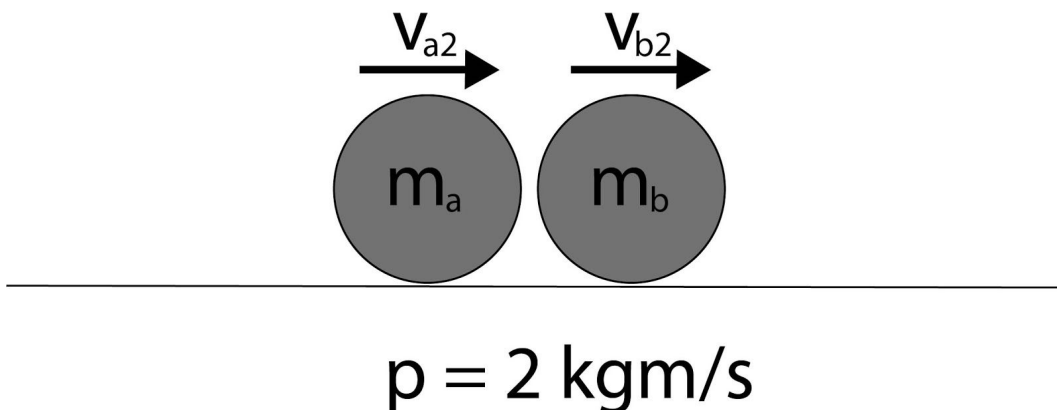
eftersom den sammanlagda rörelsemängden för de två objekten är 2 kgm/s efter kollisionen samt att definitionen av rörelsemängd är:

$$p = mv$$

vilket omskrivs till:

$$v = \frac{p}{m}$$

Då kollisionen är elastisk, vilket kommer förutses fortsättningsvis i denna förklaring, kan situationen se ut som följande illustration (se figur 3).



Figur 3. Illustrationen visar en endimensionell situation efter en elastisk kollision mellan två objekt där samtliga storheter har okända värden, med undantag för rörelsemängden som är 2 kgm/s . Koordinataxlarna är utformade så att uppåt respektive höger är positiva riktningar i figuren.

I detta scenario kommer de två objekten röra sig med relativt långsam hastighet åt höger. Eftersom den sammanlagda rörelsemängden för objekten fortfarande ska vara 2 kgm/s efter kollisionen kan följande samband ställas upp:

$$m_a v_{a2} + m_b v_{b2} = 2$$

De två objekters kinetiska energi före kollisionen bestäms enligt följande samband:

$$\frac{m_a v_{a1}^2}{2} + \frac{m_b v_{b1}^2}{2}$$

och eftersom den kinetiska energin bevaras i en elastisk kollision kan följande samband skrivas upp:

$$\frac{m_a v_{a1}^2}{2} + \frac{m_b v_{b1}^2}{2} = \frac{m_a v_{a2}^2}{2} + \frac{m_b v_{b2}^2}{2}$$

vilket skrivs om till:

$$m_a v_{a1}^2 + m_b v_{b1}^2 = m_a v_{a2}^2 + m_b v_{b2}^2$$

Vid jämförelse av sambanden som tagits upp:

$$m_1 v_{a1} + m_2 v_{b1} = m_1 v_{a2} + m_2 v_{b2} = 2$$

samt

$$m_a v_{a1}^2 + m_b v_{b1}^2 = m_a v_{a2}^2 + m_b v_{b2}^2$$

inses att det finns en likhet mellan dem. Med förutsättningen att rörelsemängden är 2 kgm/s oberoende av värdena på de övriga okända storheterna (se figur 1) kommer de övriga storheternas värden öka eller minska i förhållande till varandra så att rörelsemängden alltid är 2. Då värdena av de övriga storheterna ökar kommer den totala rörelseenergin att öka. Dock kommer rörelsemängden fortsatt ha ett konstant värde på 2 kgm/s. Eftersom värdemängderna för v_{a2} respektive v_{b2} är:

$$v_{a2}^2 < v_{a1}^2$$

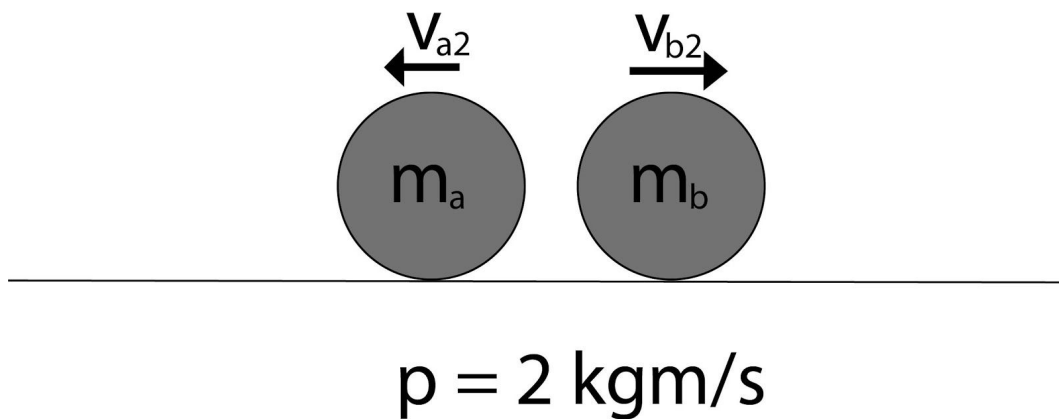
respektive

$$v_{b2}^2 > v_{b1}^2$$

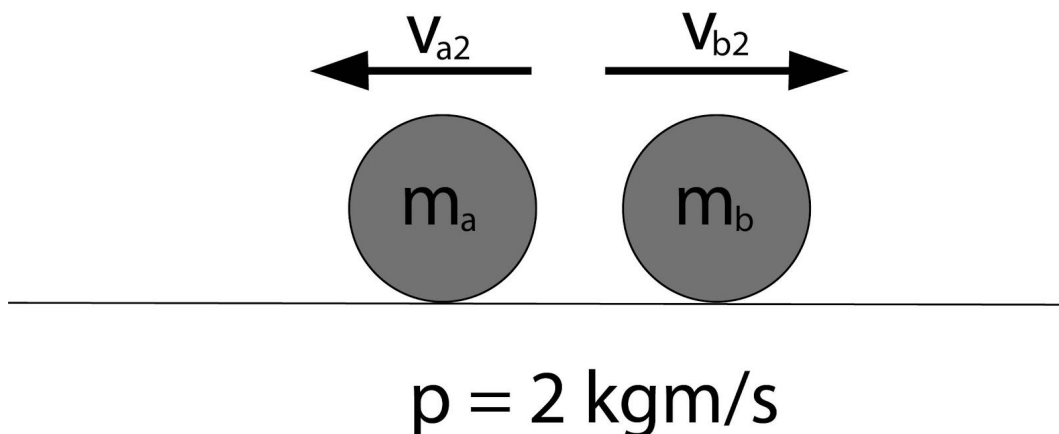
följer att

$$v_{a2}^2 < v_{b2}^2$$

eftersom det är en endimensionell kollision (objekten kan inte röra sig genom varandra). Detta innebär att när rörelseenergin är tillräckligt stor måste v_{a2} få ett negativt värde samtidigt som v_{b2} får ett stort positivt värde eftersom den rörelsemängden fortfarande måste bli 2 kgm/s. Detta ges exempel på i följande illustrationer (se figur 4 och figur 5).



Figur 4. Illustrationen visar en endimensionell situation efter en elastisk kollision mellan två objekt där rörelsemängden är 2 kgm/s. Den totala rörelseenergin är relativt stor vilket ger de båda objekten en liten hastighetsavvikelse från den gemensamma hastighetsvektorn utifrån en fullständigt oelastisk kollision. Koordinataxlarna är utformade så att uppåt respektive höger är positiva riktningar i figuren.



Figur 5. Illustrationen visar en endimensionell situation efter en elastisk kollision mellan två objekt där rörelsemängden är 2 kgm/s. Den totala rörelseenergin är mycket stor vilket ger de båda objekten en stor hastighetsavvikelse från den gemensamma hastighetsvektorn utifrån en fullständigt oelastisk kollision. Koordinataxlarna är utformade så att uppåt respektive höger är positiva riktningar i figuren.

En förändrad rörelseenergi hos två ingående objekt i en oelastisk kollision ger en större eller mindre avvikelse från den gemensamma hastighetsvektorn som en ihopslaget objekt AB skulle haft i en fullständigt oelastisk kollision, vilket visas ovan (se figur 4 och 5). Avvikelsen är inte konstant, det vill säga att de två objekten inte avviker med konstant hastighetsvektor från varandra beroende på rörelseenergin. Avvikelsen är istället beroende av de ingående objektens massa och kvadraten av objektens hastighet, vilket ger en oregelbunden avvikelse som är beroende på de nämnda storheternas värden.

Följderna av en oelastisk kollision är liknande med en elastisk kollision, alltså för att vända objekt B med en kollision från objekt A måste absolutbeloppet av rörelsemängden för objekt A vara större än absolutbeloppet av rörelsemängden för objekt B före kollisionen. På samma sätt som vid den elastiska kollisionen

kommer inte detta garantera att objekt A färdas i den riktningen som objekt B efter kollisionen. För att beräkna följderna för objekt A måste den kinetiska energin tas i beaktande, på samma sätt som den gjorde för en elastisk kollision. Dock bevaras inte den kinetiska energin vid en oelastisk kollision vilket försvårar beräkningarna av kollisionens följder. Kort kan det sägas att följderna blir ungefär detsamma förutom att avvikelserna av de ingående objektens hastighetsvektorer gentemot varandra blir mindre än vad den skulle ha blivit i en elastisk kollision. Avvikelsens storlek går inte att bestämma utan att veta den andel kinetisk energi som bevaras vid kollisionen.

Scenariot som ovan beskrivits innefattar enbart kollisioner i 1 dimension eftersom de sker på en rak linje. Adderar man en dimension till scenariot för kollisionen behöver inte objekten i fråga färdas i motsatt riktning utan med en vinkel vilket ger mindre värden på dess essentiella massa och hastighet. Adderas en dimension måste ekvationen för rörelsemängdens bevarande skrivas i ett ekvationssystem med en ekvation för respektive dimension. Följande ekvationssystem skrivs:

$$m_a(-\Delta v_{ax}) = m_b \Delta v_{bx}$$

$$m_a(-\Delta v_{ay}) = m_b \Delta v_{by}$$

Där indexeringen x och y är de två definierade riktningarna för respektive dimension.

Som beskrivits kan ovanstående samband användas för beräkningar av kollisioner i 2 dimensioner. En stor begränsning med det är att dessa beräkningar inte kan användas för att beskriva praktiska scenarion, då kollisionerna i verkligheten sker i 3 dimensioner. För att ta hänsyn till kollisioner i 3 dimensioner måste ett ekvationssystem skapas där samma ekvation finns för samtliga dimensioner. Ekvationssystemet ser ut som följande:

$$m_a(-\Delta v_{ax}) = m_b \Delta v_{bx}$$

$$m_a(-\Delta v_{ay}) = m_b \Delta v_{by}$$

$$m_a(-\Delta v_{az}) = m_b \Delta v_{bz}$$

Där indexeringarna x , y och z är de tre definierade riktningarna för respektive dimension.

Newtons gravitationslag

Newtons gravitationslag ser ut som följer:

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_A m_B}{r^2}$$

Där F_1 är kraften objekt 1 verkar med på objekt 2, F_2 är kraften objekt 2 verkar med på objekt 1, G är newtons gravitationskonstant (vilket är en universell proportionalitetskonstant vars värde ligger på ca $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)⁴¹, m_A är massan för objekt A, m_B är massan för objekt B och r är avståndet mellan de båda kropparnas tyngdpunkter.⁴² Som uttryckt i ekvationen ovan är kraften beroende av massan för de båda objekten, det vill säga att kraften ökar proportionerligt mot massan, därmed skulle en dubblering av massan medföra en dubblering av kraften. Ur Newtons gravitationslag går även att utläsa att kraften är omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet mellan objektens tyngdpunkter. Om man då exempelvis halverar avståndet så betyder det att kraften fyrfaldigas. Den sista faktorn som kan påverka sträckan som objekt B förflyttas är tiden. Andraderivatan av sträckan beroende av tiden är som sagt acceleration. Därmed kommer sträckan öka beroende av tiden, ju längre tid som går ju mer förändras sträckan.

Motor

En motor är en maskin vars syfte är omvandling till mekanisk energi från en annan energiform.⁴³

⁴¹ "CODATA Value: Newtonian constant of gravitation - NIST."
<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg>. Öppnades 18 dec.. 2018.

⁴² "gravitation - Uppslagsverk - NE.se."
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/gravitation>. Öppnades 11 jan.. 2019.

⁴³ "motor - Uppslagsverk - NE.se."
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/motor>. Öppnades 8 apr.. 2019.

Laser

En laser är en anordning vars syfte är att "alstra koherent (samstämmig) elektromagnetisk strålning"⁴⁴. Detta innebär att elektromagnetisk strålning med samma frekvens samlas och skickas iväg så att den inte sprider sig såsom elektromagnetisk strålning normalt gör. Detta medför att en laserstråle har stort energiinnehåll. Den elektromagnetiska strålningens energiinnehåll E utgörs av följande ekvation:

$$E = h \cdot f$$

Där h är plancks konstant och f är strålningens frekvens.

⁴⁴ "laser - Uppslagsverk - NE.se." <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/laser>. Öppnades 16 jan.. 2019.

Motivering och tillämpning

Forskare vid NASA har tidigare varnat för att mänskligheten fortfarande är oförberedda för ett eventuellt nedslag av extraterrestriella objekt.⁴⁵ Stephen Hawking förklarade i sin sista bok "Brief Answers to the Big Questions" att ett asteroidnedslag är det största hotet för vår planet. Med hänsyn till detta vill vi fortsätta utvärderingen och utvecklingen av olika metoder som skyddar jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt. Vi vill analysera dessa metoder genom olika perspektiv för att underlätta till framtida forskningsarbeten. Våra undersökningar har potentialen att kunna användas vid diskussioner angående vilka metoder som bör användas för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt. Våra resultat och förklaringar sätter perspektiv på de annars svårtolkade metoderna. Vidare kan våra utvärderingar inom enskilda metoder användas för att sätta perspektiv på hur olika förutsättningar påverkar metodernas möjlighet att lyckas skydda planeten. Med hjälp av dessa kan man fastställa de metoder som är bäst utifrån givna scenarion. Detta underlättar förståelsen för metodernas möjligheter att implementeras i praktiken.

För att tillämpa detta projekt i ett praktiskt syfte vill vi tillgängliggöra vårt resultat för allmänheten, med huvudsakligt fokus på ungdomar. Vår vision är att vi genom detta arbete väcker intresse för astrofysiken bland människor där den ännu inte väckts. Vi tror på att detta lättillgängliga sätt att presentera resultatet av vår undersökning medför en större relaterbarhet och ett större engagemang till ämnet.

⁴⁵ "Earth woefully unprepared for surprise comet or asteroid, Nasa" 13 dec.. 2016, <https://www.theguardian.com/science/2016/dec/13/space-asteroid-comet-nasa-rocket>. Öppnades 7 mars. 2019.

Syfte och frågeställningar

Syftet med detta projekt är att undersöka, utvärdera och tillgängliggöra de metoder som kan användas för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt (EO), vilket är samlingsnamnet för jordnära objekt och interstellär materia. Detta projekt ska utvärdera de olika metoderna utifrån olika faktorer. Vår vision är att resultatet från detta arbete ska kunna användas som hjälpmedel för att underlätta processen av val av metoder för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt i framtiden.

De frågeställningar vi vill ha besvarade i denna rapport är följande:

Vilka metoder är bäst lämpade för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt med avseende på diverse förutsättningar och hur fungerar dessa?

Vilken metod är bäst lämpade för att skydda jorden mot nedslag av asteroiden 99942 Apophis?

Forskningen kring detta område har varit relativt omfattande under de senaste decennierna och flera av de allra största organisationerna inom ämnet, däribland NASA, har varit i framkant av forskningen. Vi har därmed inte tänkt ta fram egna metoder för att skydda jorden mot extraterrestriella objekt (EO), någonting som de större organisationerna ägnat årtal till. Detta projekt ska utföras inom en begränsad tidsperiod på omkring 25 veckor vilket leder till stora begränsningar. Vi kommer inte genomföra några praktiska arbeten eller experiment för att pröva våra undersökningar.

MATERIAL OCH METOD

I detta projekt utfördes en kvalitativ intervju med Markus Janson, astronom och docent vid Stockholms Universitet. Markus Janson forskar i huvudsak med att utforska nya exoplaneter. Frågorna i intervjun efterfrågade sådan information som kompletterade resonemang som ej var tillräckligt underbyggda. Dessutom efterfrågades även ny information. Frågorna löd:

- Finns det andra metoder värda att utvärdera utöver våra?
- Hur realistiska är metoderna?
- Hur fungerar tvåkropparsproblemet, dvs matematiken och rent praktiskt?
- Hur beräknas excentriciteten förutsatt att man inte känner till trajektorien?
- Hur beräknas excentriciteten för himlakroppar vars bana är i form av en hyperbol?
- Hur fungerar det när man tar in data på olika asteroider för att bestämma dess hastighet, massa, diameter, densitet osv?
- Hur fungerar det när man beräknar sannolikheter för att ett objekt ska träffa jorden, vilka faktorer spelar roll?

Därefter ställdes följdfrågor för att nya funderingar kom fram. Intervjun erhålls i sin helhet i form av en transkribering i bilaga 2.

En annan undersökningsmetod som använts är kvalitativa litteraturstudier. Ändamålsenlig litteratur uppsöktes genom att söka på internet med hjälp av sökmotorn Google, i olika databaser såsom NASA:s Jet Propulsion Laboratory hemsida. Även ett flertal böcker användes för att erhålla relevant information till detta projekt, dessa var bland annat Bra Böckers Lexikon, Islands in Space och Formler och Tabeller.

Den insamlade informationen från intervjun samt informationen från den använda litteraturen används som grund för rapportens resonemang och utvärderingar.

Dock är det viktigt att känna till att många av de resonemang och slutsatser som dras grundar sig på logik och förnuft och därmed ingen empirisk studie.

Källor och källkritik

Nedan redovisas de mest centrala källor som använts i detta projekt. Till respektive källa finns ett resonemang kring källans trovärdighet genom en källkritisk granskning.

Nationalencyklopedin (<https://www.ne.se>):

Nationalencyklopedin (NE) används frekvent i rapporten för att ta reda på definitioner för olika begrepp och uttryck. Eftersom källan enbart användes för att kunna definiera särskilda begrepp används källan uteslutande i underrubriken "Centrala Begrepp". Källan är äkta eftersom den utger sig för att vara ett digitalt kunskapsföretag, vilket stämmer. Nationalencyklopedin har 1,8 miljoner svenska medlemmar och det står skrivet på hemsidan att "allt som publiceras på hemsidan är vetenskapligt korrekt, värdeneutralt och objektivt, och allt granskas av NE:s egen redaktion innan det publiceras". Därmed kan man med stöd av dessa bevis säga att informationen som tillhandahålls på hemsidan är riktig. Vidare kan källan även anses fullständigt neutral då dess hemsida styrs av en redaktion beroende av flera oberoende parter samt innehar en ledande roll av att förse vetenskaplig och värdeneutral fakta till en stor del av Sveriges akademiska institut. Artiklarna från hemsidan hämtades precis innan de tillades i denna rapport och därmed är informationen som NE tillhandahöll vid tiden för hämtningen aktuell.

NASA (<https://www.nasa.gov>):

NASA (National Aeronautics and Space Administration) används som främsta källa för tidigare forskning där den bland annat förser studien med historisk fakta om forskning som gjorts inom ämnet under de senare decennierna. Den ger även studien detaljerad information om de metoder som redan finns samt utvärderingar av dessa. Källan är äkta då organisationen bakom källan utger sig för att vara en federal myndighet för luft- och rymdfart, vilket stämmer. NASA är en välkänd organisation inom astronomin och har sedan dess grundande år 1958 alltid varit

ledande i allt som rör rymden. De personer som jobbar på NASA anses vara bland de bästa ingenjörerna och forskarna USA har att erbjuda. Därmed kan man med säkerhet säga att informationen på hemsidan är riktig. Källan kan vara vinklad så att USA ska se bättre ut då det är en federal myndighet, det vill säga ägs av den amerikanska staten. Dock kan man bortse från detta i våra artiklar då de inte skulle tjäna något på att sprida felaktig, alternativt undanhålla, information inom dessa ämnen. Dessutom blir alla NASAs publicerade dokument granskade av journalister. Därmed kan man anta att informationen som används i rapporten är neutral. Artiklarna från hemsidan hämtades precis innan de tillades i denna rapport och därmed är informationen som NASA tillhandahöll vid tiden för hämtningen aktuell.

Intervju med Markus Janson, Astronom och Docent vid Stockholms

Universitet:

Intervjun med Markus Janson, som genomfördes den fjärde december 2018, används i rapporten för att kunna dra grundade och nyanserade resonemang samt för att förstå och utvärdera metoderna. Då källan används för att härleda resultat samt för att diskutera dessa används källan främst i resultatet och diskussionen men även för att definiera centrala begrepp i inledningen. Källan är äkta då intervjun genomfördes av skribenterna och finns som bilaga i slutet av denna rapport. Markus Janson är docent vid institutet för astronomi och därmed kan man anta att informationen och resonemangen som intervjuobjektet tillhandahåller är riktig. Vidare kan källan även anses fullständigt neutral då intervjuobjektet inte har någon baktanke med att genomföra intervjun förutom att sprida korrekt information. Då intervjun är en förstahandskälla och genomfördes under skrivandet av denna rapport så är informationen aktuell.

RESULTAT

Resultatet bygger på logiska resonemang och diskussioner som har genomförts mellan skribenterna där diskussionen grundar sig i tidigare forskning och litterära verk, vilket återfinns i bakgrunden. Resonemangen som underbygger resultatet förekommer, okonventionellt, i diskussionskapitlet eftersom arbetet i sin helhet kretsar kring skribenternas systematiska analys av metodernas användbarhet. Mer specifikt görs detta val av disposition för att möjliggöra en tydligare struktur för framkomsten av resultatet. Därav placeras den resultat-grundande diskussionen i diskussionskapitlet.

Metoder

Bland samtliga metoder som har utarbetats och analyserats i detta arbete presenteras de metoder som är bäst lämpade utifrån diverse förutsättningar i följande punktlista.

- Kollision
- Gravitationsdragnig
- Explosion
- Motor
- Laser

De metoder som valdes för utvärdering indelas i två huvudgrupper; avvärjande metoder och oblitererande metoder. De avvärjande metoderna utgår från den gemensamma utgångspunkten att ändra EO:s trajektoria vilket på så sätt skulle skydda jorden mot ett eventuellt nedslag. De oblitererande metoderna går istället ut att obliterera EO, det vill säga förstöra EO och på så sätt skydda jorden mot ett eventuellt nedslag.

Samtliga metoder har olika funktioner och tillämpningar. Till en del metoder följer särskilda teorier som är viktiga vid användning och eventuella beräkningar. Tillsammans med det följer nedan genomgående förklaringar till respektive metods funktion:

Metod 1 - Kollision:

Kollision är den förstnämnda metoden i detta projekt. Metoden är en avvärjande metod som går ut på att man skickar upp ett objekt med hög rörelsemängd med syfte att kollidera med EO som utgör ett hot mot Jorden. Målet med kollisionen är att hastigheten hos EO ökar eller minskar tillräckligt mycket för att den ska vidga

eller komprimera sin trajektoria och därmed inte kollidera med jorden.

Kollisionen kommer i praktiken sannolikt att vara oelastisk.

Metod 2 - Gravitationsdragning:

Gravitationsdragning är den andra metoden som utforskats i detta projekt.

Gravitationsdragning är en avvärjande metod som utnyttjar Newtons gravitationslag för att verka med en kraft på EO under en tid och därmed skapa en acceleration med önskad riktning gentemot jorden. Detta kommer genomföras genom att en raket skjuts upp och antingen endast befinna sig nära EO eller kretsa kring EO.

Metod 3 - Explosion:

Den tredje metoden som utforskats i detta projekt är explosion och är en oblitererande metod. Metoden går ut på att använda bomber för att spränga EO i bitar. Detta kommer att genomföras på så sätt att ett antal bomber med ett stort energiinnehåll, förslagsvis kärnvapen, kommer att samlas på ett ställe och avfyras samtidigt mot EO.

Metod 4 - Motor:

Den fjärde metoden som utforskats i detta projekt är motor. Metoden går ut på att fästa en motor på EO. Där ska den utveckla kraft på EO vilket leder till att en acceleration med önskad riktning utvecklas gentemot Jorden. Detta kommer att förflytta EO under inverkan av tid, då acceleration är en derivata av hastighet, beroende av tiden.

Metod 5 - Laser:

Den femte metoden som utforskats i detta projekt är laser. Denna metod går ut på att sända en laserstråle mot EO. Detta skulle få materian i en viss punkt på EO att sublimeras eller förångas till gas som en följd av den höga energinivån i laserstrålen. Gasen skulle ha lägre densitet än den fasta eller flytande formen och

därmed skjutas ut från EO. Detta skulle skapa en acceleration med önskad riktning likt en raketmotor.

Förutsättningar

De förutsättningar som valts att användas för att avgöra de olika metodernas lämplighet presenteras i följande punktlista

- Tid
- Realism
- Säkerhet
- Komposition

Förutsättningarna används i samverkan med varandra för att diskutera de olika metodernas lämplighet. Avslutningsvis används förutsättningarna i ett verkligt scenario med förutbestämda värden för att beräkna och slutligen bestämma den bäst lämpade metoden utifrån ett praktiskt exempel.

Tid

Den första förutsättningen som används för att avgöra metodernas lämplighet i detta arbete är tid. Detta innebär den tid som finns från det att ett hotande EO med en trajektoria som skär jordens trajektoria i en specifik punkt i rymden upptäcks tills dess nedslag på jorden. Gemensamt för samtliga metoder är att de blir mer lukrativa för användning om en större tidsperiod erhålls. Därmed är förekomsten av mycket tid en viktig del när det gäller skyddande av jorden mot nedslag av EO.

Realism

Den andra förutsättningen som används för att avgöra metodernas lämplighet i detta arbete är realism. För att beskriva denna förutsättning används principen att skeendet för metodernas användning i praktiken kan delas upp i två delar.

Förutsättningen realism syftar på sannolikheten att metodens första del lyckas, det vill säga hur realistiskt det är att metodens händelse går som förväntat fram tills dess att skyddandet av jorden från EO påbörjas. Noterbart angående denna

förutsättning är att bedömningen av metodernas realism delvis utgår från deras möjligheter i dagens tid, det vill säga hur trovärdigt det är att de skulle fungera idag. Delvis även från deras möjligheter att fungera med framtidens teknik, där prognoser för när den tekniken förväntas kunna användas tillämpas. För samtliga metoder gäller att de är mer lukrativa om den är mer realistisk.

Säkerhet

Den tredje förutsättningen som används för att avgöra metodernas lämplighet i detta arbete är säkerhet. Förutsättningen säkerhet syftar på sannolikheten att metodens andra del lyckas, det vill säga sannolikheten att metoden framgångsrikt lyckas skydda jorden från ett nedslag av EO, förutsatt att metoden är fullt realistisk. Detta innebär att förutsättningen säkerhet tar sig an hur stor sannolikheten är, efter metodens inverkan, att EO ej slår ned på Jorden. För samtliga metoder gäller att de är mer lukrativa om förutsättningen säkerhet är positiv, det vill säga att sannolikheten för att metoden efter dess inverkan har hög sannolikhet att skydda jorden från ett nedslag av EO.

Komposition

Den fjärde förutsättningen som används i detta projekt för att avgöra metodernas lämplighet är komposition. Förutsättningen syftar på EOs komposition. Olika metoder kommer att fungera olika bra beroende på hur EOs komposition ser ut. Förutsättningen komposition är uppdelad i två delar, densitet och form. Samtliga delmoment syftar på EOs egenskaper. Samtliga metoders lämplighet utifrån respektive delmoment i förutsättningen analyseras, bearbetas och slutligen sammanställs i en sammanvägd bedömning av metodens lämplighet utifrån förutsättningen komposition.

Den bäst lämpade metoden utifrån diverse förutsättningar

Resultatet av vilken metod som är bäst lämpad för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt är att det inte entydigt går att bestämma vilken metod som är den bästa. Den metod som är bäst lämpad för att skydda jorden mot nedslag av EO skiljer sig alltså beroende på förutsättningarna.

Den bäst lämpade metoden för 99942 Apophis

Den bäst lämpade metoden för asteroiden är laser i samband med en reserv-metod i form av explosion.

DISKUSSION OCH SLUTSATS

Diskussion

Nästan hela diskussionen är förankrad i den litterära studie vi genomfört. Dock är många resonemang baserade på begränsade data och förenklade modeller.

Därmed bör inte resultatet av projektets andra frågeställning, vilken metod som är bäst för att skydda jorden från asteroiden 99942 Apophis, antas vara den riktiga utan vidare undersökningar. Dock kan man använda projektets första del för att komma fram till vilken metod som är bäst, om man har tillgång till all data och inte behöver förlita sig på förenklade metoder. Därmed är projektets första del en mall för hur man bör angripa ett godtyckligt EO och denna kan ses som tillförlitlig. Den andra delen bör däremot endast ses som ett exempel på hur man kan gå tillväga för att härleda den bästa metoden.

Metoder

Det finns ett antal övriga metoder som ofta nämns i debatten kring skyddande mot EO som togs i beaktande i detta projekt. Trots det valde vi att inte utvärdera dessa metoder av diverse anledningar. Nämnbara exempel av dessa metoder är jon-motor, fokuserad solenergi och asteroidmining.

Jon-motorn fungerar på så sätt att en raket skickas upp i närheten av EO vars trajektoria man vill förändra och skjuter joner på EO.⁴⁶ Detta påverkar EO med en svag konstant kraft genom att överföra jonens kinetiska energi till EO. Då det är en konstant kraft kommer även accelerationen att vara konstant. Detta skapar en hastighetsförändring på EO med samma vektor som jonen. Anledningen till att detta projekt inte tog med denna metod självständigt är att metoden är en del av gravitationsdraging och motor-metoderna. Detta då gravitationsdraging och motor-metoderna i detta projekt använder sig av jon-motorn för att driva metoderna och därmed få till en hastighetsförändring på EO till önskad riktning.

Fokuserad solenergi fungerar på så sätt att solenergi fokuseras mot en del av EO vilket vaporiserar ytan av EO på just den del som beskjuts och detta medför att delar avlägsnas.⁴⁷ Avlägsnandet av delar leder i sin tur till en drivkraft med en accelerationsriktning motsatt riktningen av de avlägsnade delarna. Metoden fokuserar solenergin genom speglar som samlar ljuset och emitterar det i samlad form mot EO. Anledningen till att detta projekt inte tog med denna metod självständigt är att den är relativt outforskad.

Asteroidmining är när man utvinner mineraler från EO. Trots namnet syftar asteroidmining på utvinning av mineraler från samtliga typer av EO, inte bara

⁴⁶ C. Bombardelli and J. Peláez, "Ion Beam Shepherd for Contactless Space Debris Removal ", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 34, No. 3, May–June 2011, pp 916–920.

⁴⁷ Vasile M., Maddock C., Design of a Formation of Solar Pumped Lasers for Asteroid Deflection, *Advances in Space Research*, Volume 50, Issue 7, 1 October 2012, Pages 891–905.

asteroider.⁴⁸ Tanken bakom denna metod är att man, genom utvinningen av värdefulla mineraler, bryter ner EO i mindre bitar som delvis ändrar riktning och bromsas upp för att slutligen brinna upp i jorden atmosfär. Det finns stora fördelar med asteroidmining, bland annat den ökade tillgången till viktiga mineraler. På grund av den höga användningen av resurser inom modern industri och matproduktion befaras många naturresurser ta slut inom de närmaste 50-60 åren.⁴⁹ Ett sätt att rädda framtidens industri och produktion av föda är genom att använda asteroidmining då man har goda möjligheter att utvinna stora mängder av viktiga mineraler som behövs. Asteroidmining är även positivt ur ett astrobiologiskt perspektiv eftersom utvinningarna kan bidra med data och materia som ger oss mer information om liv i universum.⁵⁰ Det finns mängder med möjligheter med denna metod men dess huvudsyfte är inte att skydda nedslag av extraterrestriella objekt på jorden utan att utvinna och transportera mineraler från EO med olika ändamål. Detta gör denna metod problematisk eftersom att det inte finns någon forskning kring hur metoden är betydelsefull för att skydda jorden i större utsträckning och det är även av den anledningen vi väljer att inte ha med metoden i detta projekt. Dock kan man med fördel utveckla metoden för andra EO som inte utgör ett hot mot jorden.

Kollision

Metoden kollision är som tidigare nämnts en avvärjande metod vars syfte är att ändra EO:s trajektoria på så sätt att det inte riskerar att slå ned på jorden. För att säkra att EO inte utgör ett hot mot jorden måste EO:s trajektoria ändras på så sätt att den passerar utanför exosfären, det vill säga på ett avstånd som är 10 000 km eller längre utanför jordens yta. Det som praktiskt sker vid denna metod är att ett

⁴⁸ O'Leary, B. 1977. Mining the Apollo and Amor Asteroids. Science: 197, 363-366.

⁴⁹ "Earth's natural wealth: an audit | New Scientist." 23 maj. 2007, <https://www.newscientist.com/article/mg19426051-200-earths-natural-wealth-an-audit/>. Öppnades 8 apr.. 2019.

⁵⁰ "Evidence of asteroid mining in our galaxy may lead to the discovery of" 5 apr.. 2011, <https://insider.si.edu/2011/04/evidence-of-asteroid-mining-in-our-galaxy-may-lead-to-the-discovery-of-extraterrestrial-civilizations/>. Öppnades 6 feb.. 2019.

objekt skickas långt ut i rymden för att möta det hotande EO. Ju längre ut och ju tidigare den upptäcks desto säkrare och energisnålare metod blir det eftersom en längre distans från jorden samt en längre tid från det eventuella nedslaget minskar den rörelsemängd som det uppskickade objektet behöver för att skydda jorden. Väl framme vid EO kommer det uppskickade objektet antingen öka eller sänka hastigheten hos EO beroende på förutsättningarna. Valet av alternativ grundar sig i mängden energi som krävs för att säkra att EO rör sig i en bana utanför exosfären. Den energi som krävs vid kollisionen beror på vad för typ av kollision som utförs och andra förutsättningar såsom tid till det eventuella nedslaget vilket förklaras senare i rapporten.

Kollisionen som skapas kommer i praktiken sannolikt att vara oelastisk. En fullständigt oelastisk kollision går i teorin att skapa genom att konstruera objektet som ska stöta bort det hotande EO på ett sådant sätt att det vid kollisionen sätts samman med EO på ett eller annat sätt. Till exempel skulle det uppskickade objektets framkant kunna utgöras av en vass spets som tränger in i EO. Vid beräkning av denna metod kommer massan efter kollisionen vara densamma som summan av de två enskilda objektens massa före kollisionen eftersom de då har slagits samman till ett gemensamt objekt, vilket förklaras i samband med definitionen av kollisionen i inledningen. Skulle denna kollision ske i praktiken kommer sannolikt de båda kropparna skadas i det avseende att de tappar en betydande massa som utgörs av delar tillhörande objekten. Detta skulle bland annat kunna utgöra ett hot mot jorden i den mån att de skapar ett så kallat meteoritregn som kan medföra stora förödelse vars grad av förstörelse beror på de avfallna delarnas antal och storlek. Dessutom skulle beräkningarna tillhörande denna metod inte vara trovärdiga då den totala massan efter kollisionen i själva verket är mindre än vad den framstår som vilket tar ifrån den fullständigt oelastiska kollisionen den fördelen den hade vad gällde beräkningarna av skeenden. Den elastiska kollisionen kan inte heller användas i detta sammanhang. Det som definierar en elastisk kollision är att både rörelsemängden och den

kinetiska energin bevaras efter kollisionen. Dock finns det knappt några sådan kollisioner i verkligheten.. Detta eftersom att vid kollisionerna deformeras objekten och värme utsöndras, vars energi kommer från objektens rörelseenergi före kollisionen. Som tidigare beskrivits kommer dessa objekt som kollideras sannolikt deformeras till viss grad vilket, tillsammans med att en del värme utsöndras, negligerar en elastisk kollision. Den kollision som kommer att ske i detta fall är alltså en oelastisk kollision.

Det uppskickade objektet behöver ha en stor massa, men utöver det finns det inte många strikta krav på vad det ska vara då dess enda uppgift är att avvärja EO från trajektorian i riktning mot jorden. De möjliga faktorer som kan tänkas på vad gäller konstruktionen av det uppskickade objektet är hur dess form ska anpassas för att optimera dess aerodynamiska möjligheter och minska materialkostnaden samt bränsleförbrukningen. Med detta i åtanke måste flera faktorer beaktas när det uppskickade objektet konstrueras. Eftersom att rörelsemängden är den storhet som överförs vid kollisionen bör det uppskickade objektet ha en stor massa för att överföra så mycket momentum (rörelsemängd) som möjligt till EO. Dock bör det uppskickade objektet rimligtvis inte ha en alltför stor massa då det kan påverka dess acceleration och därmed potentiella hastighet. Enligt Newtons andra lag är:

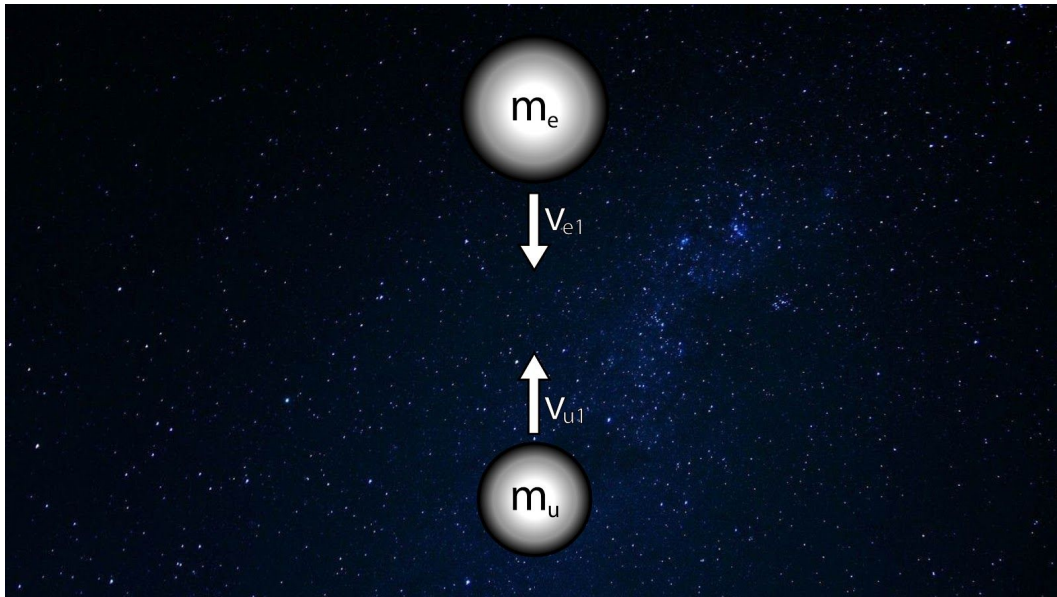
$$F = ma$$

Vilket kan omskrivas till:

$$a = \frac{F}{m}$$

Detta samband säger oss att accelerationen är kraft per massenhet. Ett tyngre objekt skulle alltså få en lägre acceleration jämfört med ett lättare objekt förutsatt att de påverkas av samma kraft. Eftersom hastigheten är den andra viktiga faktorn för att överföra så mycket rörelsemängd som möjligt bör det uppskickade objektet därmed inte ha en alldeles för stor massa samtidigt som den har en hög acceleration.

Kollisioner kan som framfört ske i flera olika dimensioner. Tänker man sig att en oelastisk kollision ska ske enligt figur 6, det vill säga i en dimension där axeln objekten rör sig utmed sträcker sig vertikalt från jordens översta punkt och uppåt, kommer följande scenario illustreras (se figur 6):



Figur 6. Illustrationen visar en endimensionell situation före en kollision mellan det uppskickade objektet (vars massa betecknas m_u) och EO (vars massa betecknas m_e). Observera att det uppskickade objektet och EO inte är verkligt avbildade utan enbart representationer.

I detta scenario är målet att få EO att vända med hjälp av det uppskickade objektet, vilket innebär att rörelsemängden hos det uppskickade objektet måste vara tillräckligt stort samtidigt som rörelseenergin är tillräckligt stor. För att garantera att det uppskickade objektet vid kollisionen lyckas vända EO måste absolutbeloppet av rörelsemängden hos det uppskickade objektet vara större än absolutbeloppet av rörelsemängden hos EO. Dock kan EO vändas utan att absolutbeloppet av rörelsemängden hos det uppskickade objektet är större än absolutbeloppet av rörelsemängden hos EO. Eftersom den kinetiska energin motsvarar avvikelsen i hastighetsvektorn mellan de två ingående objekten (vilka i

det här fallet är EO och jorden) skulle då en sådan kollision kunna skapas om den kinetiska energin var tillräckligt stor vid kollisionen, vilket förklarades tidigare i bakgrunden. Noterbart är då att den kinetiska energin inte bevaras vid en oelastisk kollision vilket gör att den kinetiska energin måste vara ytterligare något större före kollisionen.

Eftersom det uppskickade objektet i sig också kan medföra en lokal risk mot jorden om det slår ned på jordytan med våldsam hastighet finns det scenarion där man vill säkerställa att varken EO eller det uppskickade objektet har en hastighetsvektor mot jorden efter kollisionen. För att detta ska ske måste det uppskickade objektet ha en större rörelsemängd än EO samtidigt som avvikelserna av hastighetsvektorerna efter kollisionen för de ingående objekten inte är så stor. Detta betyder att den kinetiska energi som finns till förfogande vid kollisionen inte får vara särskilt stor. Dock kommer rörelseenergin hos EO alltid att vara oerhört stort i sammanhanget förutsatt att EO i frågan är av en storlek som utgör ett hot mot jorden. Detta innefattar att det troligtvis är omöjligt att skapa en elastisk kollision där både det uppskickade objektet och EO färdas från jorden efter kollisionen. Även i detta scenario måste man notera att den praktiska kollision som kommer ske i praktiken med allra största sannolikhet är en oelastisk kollision vilket gör att den kinetiska energin minskar vid kollisionen. Detta möjliggör en ökad sannolikhet för att de båda ingående objekten kan färdas åt samma riktning efter kollisionen eftersom att avvikelserna mellan deras hastighetsvektorer minskar till följd av minskad kinetisk energi.

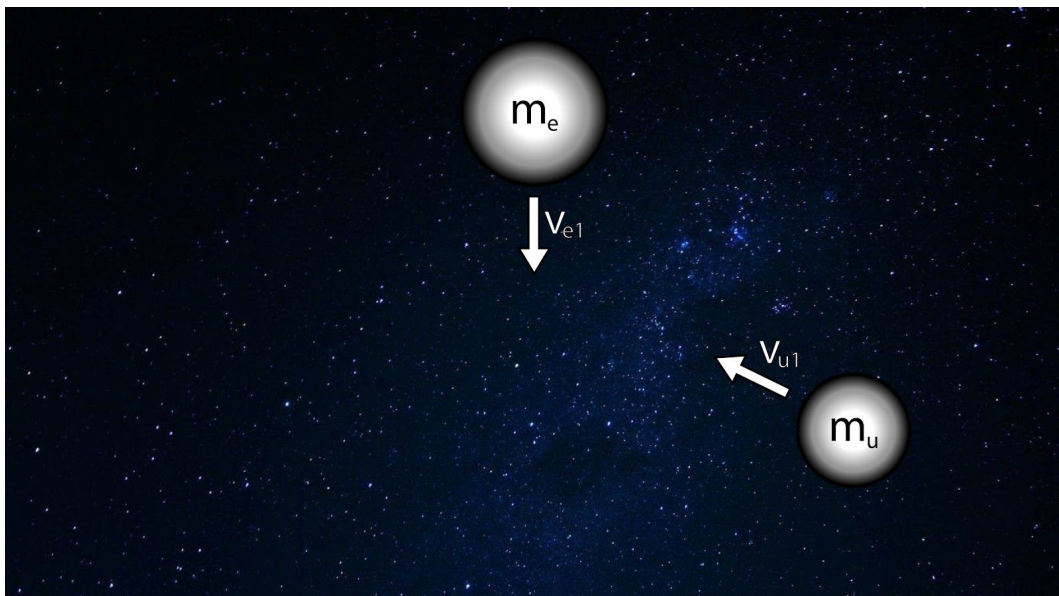
Scenariot som ovan beskrivits innefattar enbart kollisioner i en dimension eftersom de sker på en rak linje. Adderas en dimension till scenariot för kollisionen behöver inte det uppskickade objektet komma rakt underifrån utan från sidan vilket gör att de essentiella värdena på dess massa och hastighet för att framgångsrikt skydda jorden mot ett nedslag av EO minskar. Adderas en

dimension kan följande ekvationssystem skrivas (se kollision under rubriken Teorier i inledningen för tydligare beskrivning):

$$m_u(-\Delta v_{ux}) = m_e \Delta v_{ex}$$

$$m_u(-\Delta v_{uy}) = m_e \Delta v_{ey}$$

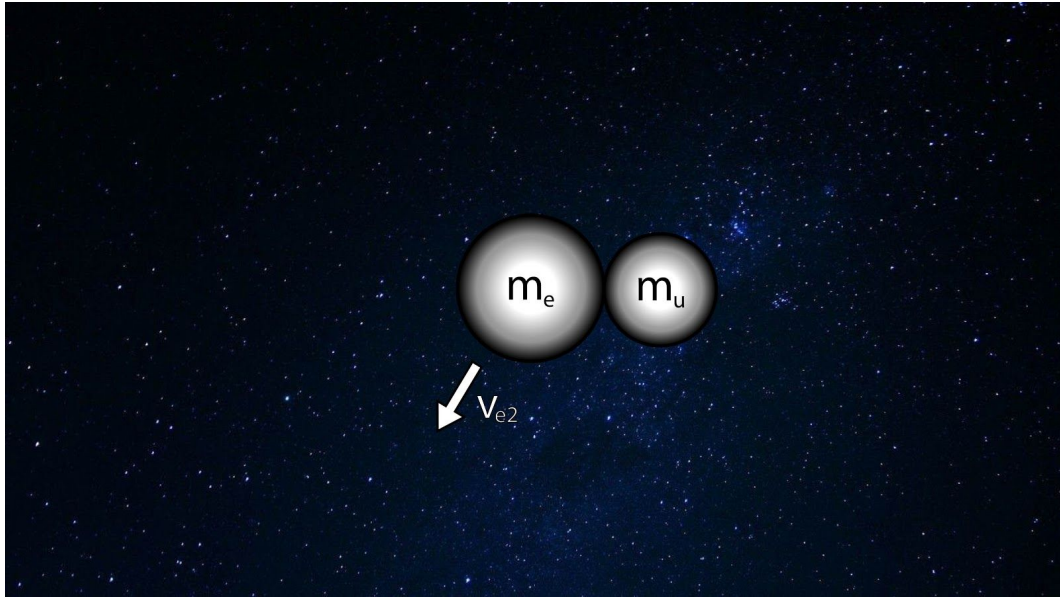
Där indexeringen x och y är de två definierade riktningarna för respektive dimension. Illustrationen nedan visar scenariot och de definierade koordinataxlarna (se figur 7).



Figur 7. Illustrationen visar en situation före en tvådimensionell kollision mellan det uppskickade objektet (vars massa betecknas m_u) och EO (vars massa betecknas m_e). Observera att det uppskickade objektet och EO inte är verkligt avbildade utan enbart representationer.

För att avvärja EO från jorden i det här fallet behöver inte följderna av kollisionen medföra att EO byter hastighetsriktning i Y-led, det vill säga att absolutbeloppet av det uppskickade objektets rörelsemängd kan vara långt mindre än absolutbeloppet av EO:s rörelsemängd samtidigt som rörelseenergin inte måste vara så stort. Eftersom att kollisionen även kommer att ske i X-led kan EO:s

rörelsemängd efter kollisionen vara negativ i Y-led samtidigt som den är tillräckligt extrem (negativ eller positiv) i X-led för att den efter kollisionen inte ska befinna sig på samma punkt vid samma tidpunkt. Vid detta scenario kan de två ingående objektet placeras så att EO:s rörelsemängd före kollisionen är lika med 0 i X-led samtidigt som det uppskickade objektets rörelsemängd före kollisionen är lika med 0 i Y-led. Detta medför att EO enbart överför rörelsemängd i Y-led till det uppskickade objektet som i sin tur enbart överför rörelsemängd i X-led till EO. Då kommer EO att innehålla samma rörelsemängd i riktning mot jorden efter kollisionen vilket innebär att den rörelsemängd som EO får i X-led efter kollisionen måste ge upphov till en hastighet i X-led hos EO (v_{e2x}) som får den att färdas en tillräckligt lång sträcka (s_x) under den tid (t) det skulle tagit för EO nå exosfären då den enbart skulle haft en hastighetsvektor i Y-led (se figur 8).



Figur 8. Illustrationen visar en situation efter en tvådimensionell kollision där det uppskickade objektet träffat EO vinkelrät mot EO:s hastighetsvektor. Utfallet blir att EO:s nya hastighetsvektor i X-led (v_{e2x}) måste vara tillräckligt stor för att få EO att färdas sträckan s_x under den tid (t) det tar för EO att färdas i Y-led till exosfären. Hastighetsvektorn hos det uppskickade objektet (v_{u2}) är ej uppritad då den är irrelevant i sammanhanget. Observera att det uppskickade objektet och EO inte är verkligt avbildade utan enbart representationer.

Utifrån det ovan nämnda scenariot kan följande samband skrivas upp som innefattar den hastighet v_{e2x} EO behöver i X-led:

$$v_{e2x} = \frac{s_x}{t}$$

där t kan betecknas enligt följande:

$$t = v_{e2y} s_y$$

där v_{e2y} är den hastighet EO har i Y-led efter kollisionen och s_y är den sträcka i Y-led mellan punkten för kollisionen och exosfärens övre gräns. För att tydliggöra kan återigen nämnas att anledningen till att exosfärens övre gräns används är för att samtliga EO betraktas som ofarliga då de inte kommer innanför den. Den

hastighet som EO behöver i X-led efter kollisionen kan slutligen bestämmas enligt sambandet:

$$v_{e2x} = \frac{s_x}{v_{e2y}s_y}$$

Sambandet kan omskrivas ytterligare för att slutligen forma följande likhet:

$$v_{e2x} = \frac{\tan(\alpha)}{v_{e2y}}$$

där α är vinkeln mellan lodlinjen och diagonalen från punkten för kollisionen och EO:s punkt då den befinner sig på samma punkt i Y-led som exosfärens övre gräns (**Se bilaga 1**).

Detta scenario som beskrivits utgår från att kollisionen mellan det uppskickade objektet och EO endast sker i två dimensioner. Eftersom vi lever i en tredimensionell verklighet kan man anta att den kollision som i verkligheten sker utgörs av tre dimensioner. För att ta hänsyn till kollisioner i 3 dimensioner måste följande ekvationssystemet skrivas (se kollision under rubriken teorier i inledningen för tydligare beskrivningar):

$$m_a(-\Delta v_{ax}) = m_b\Delta v_{bx}$$

$$m_a(-\Delta v_{ay}) = m_b\Delta v_{by}$$

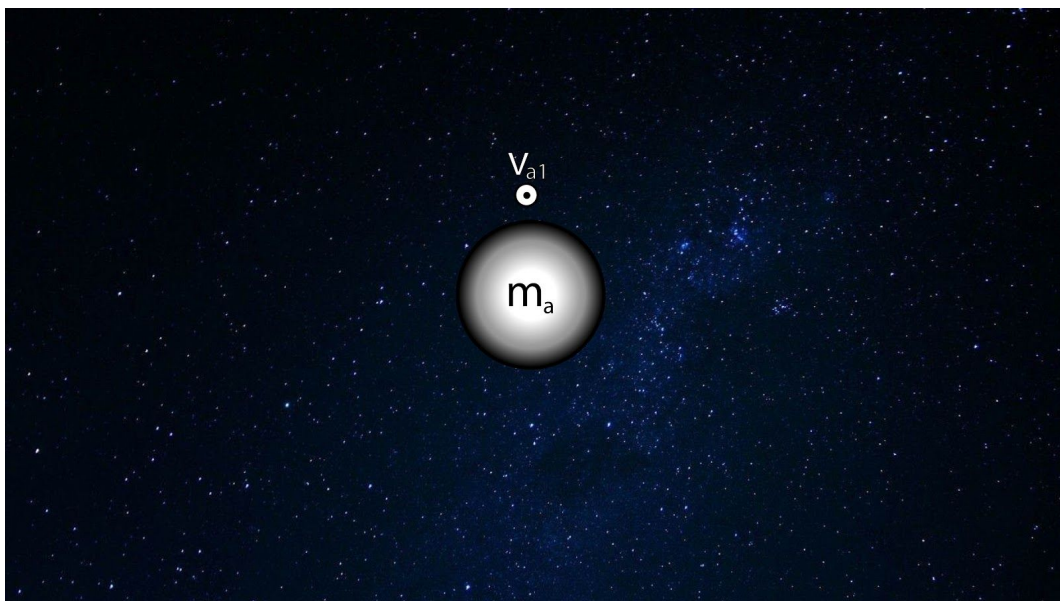
$$m_a(-\Delta v_{az}) = m_b\Delta v_{bz}$$

Där indexeringarna x , y och z är de tre definierade riktningarna för respektive dimension.

För att skydda jorden mot EO i det tredimensionella rummet behöver, likt det scenariot för det tvådimensionella planet, absolutbeloppet av det uppskickade objektets rörelsemängd nödvändigtvis inte vara större än absolutbeloppet av rörelsemängden av EO i Y-led. Det räcker med att absolutbeloppet av rörelsemängden av det uppskickade objektet är tillräckligt stort i jämförelse med absolutbeloppet av rörelsemängden av EO för att bromsa upp det i Y-led samtidigt som absolutbeloppen av rörelsemängden av det uppskickade objektet i X-led och

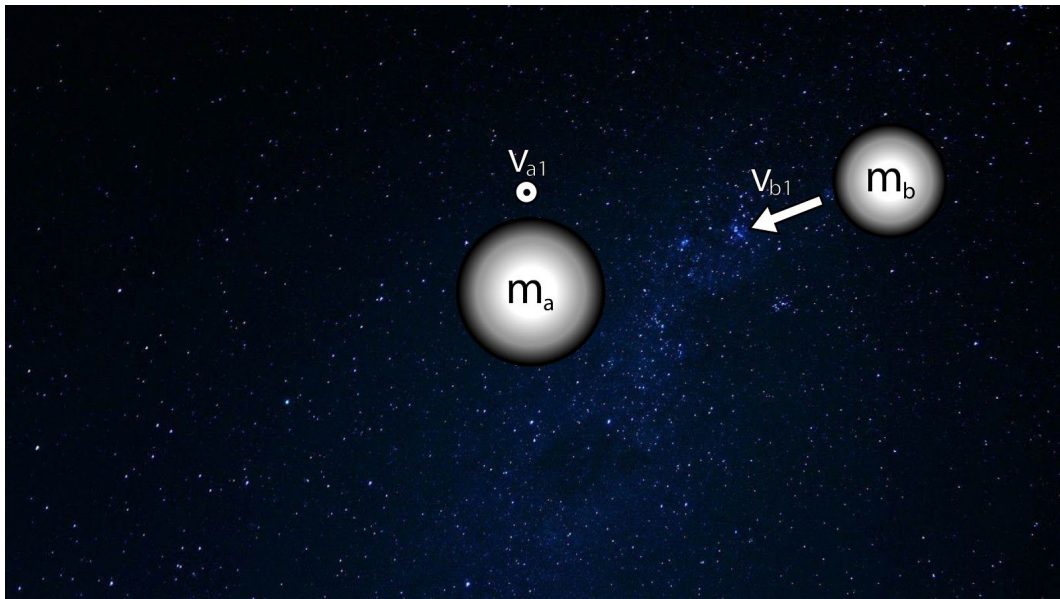
Z-led är tillsammans tillräckligt stora för att få EO, vars rörelsemängd i dimensionen Z definieras som 0, missar jorden.

Dock kommer en kollision mellan två kroppar endast att ske i 2 dimensioner, förutsatt att de två objekten överför maximal rörelsemängd till varandra. För att påvisa detta påstående kommer figurer tillsammans med förklaringar infogas här nedan. Först och främst kan ett resonemang dras som innebär att en situation före en kollision mellan två objekt är tvådimensionell, det vill säga att de båda ingående objekten rör sig utmed ett gemensamt tvådimensionellt plan. Detta eftersom det ena objektet kan fixas så att dess hastighetsvektor verkar i samma riktning som en given koordinataxel (se figur 9).



Figur 9. Illustrationen visar ett objekt före en kollision. Koordinataxlarna är utformade så att hastighetsvektorn för objekt A verkar i samma riktning som Z-axeln, utåt ur bilden. X-axeln är horisontell och har positiv riktning till höger i figuren och Y-axeln är vertikal och har positiv riktning uppåt i figuren.

Objekt B som objekt A kommer att kollidera med måste ha en hastighetsvektor som skär den linje som objekt A rör sig utmed vid samma tidpunkt som objekt A befinner sig på den punkten. Objekt B:s hastighetsvektor i XY-planet kommer att gå utifrån och sträcka sig in mot mittpunkten, vilken är den punkt som objekt A:s hastighetsvektor sträcker sig genom. Z-led kan i detta fall bortses från eftersom att den antingen måste vara positiv eller negativ vilket inte har någon betydelse i sammanhanget då man utgår från att objekten kolliderar. Den hastighetsvektor i XY-planet som objekt B måste ha illustreras i följande illustration (se figur 10).

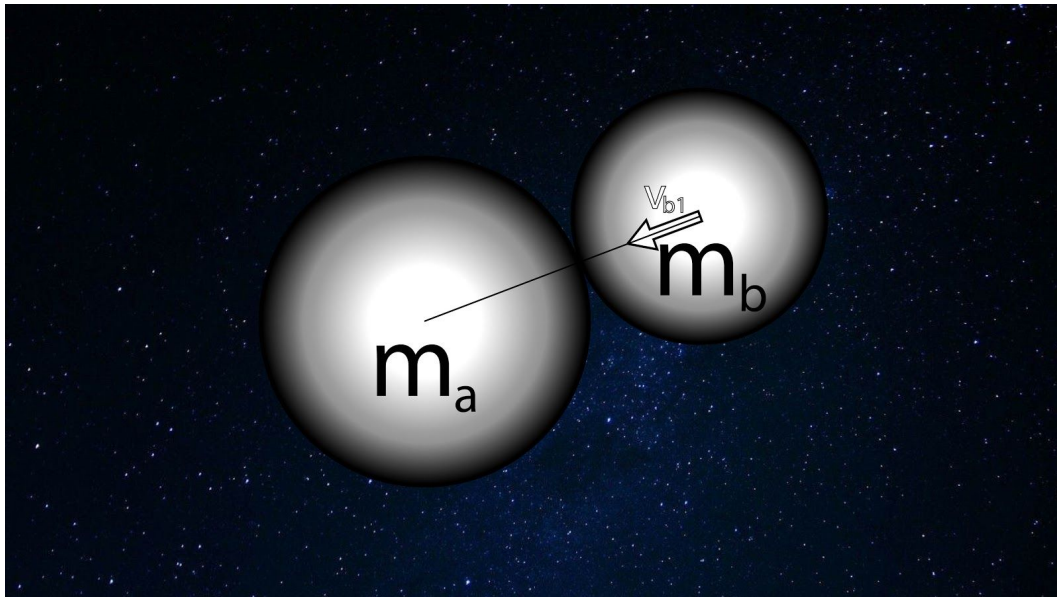


Figur 10. Illustrationen visar en situation före en kollision där hastighetsvektorn hos objekt B i XY-planet är utritad. Massan hos objekt A är märkt med m_a och massan hos objekt B är märkt med m_b . Koordinataxlarna är utformade så att hastighetsvektorn för objekt A verkar i samma riktning som Z-axeln, utåt ur bilden. X-axeln är horisontell och har positiv riktning till höger i figuren och Y-axeln är vertikal och har positiv riktning uppåt i figuren.

I scenariot ovan kan den hastighetsvektor som objekt B antar liknas med en rektangel, där djupet av rektangeln, den sida som går inåt i figuren, är objekt B:s hastighetsvektor i Z-led. Oavsett från vilken riktning objekt B kommer från

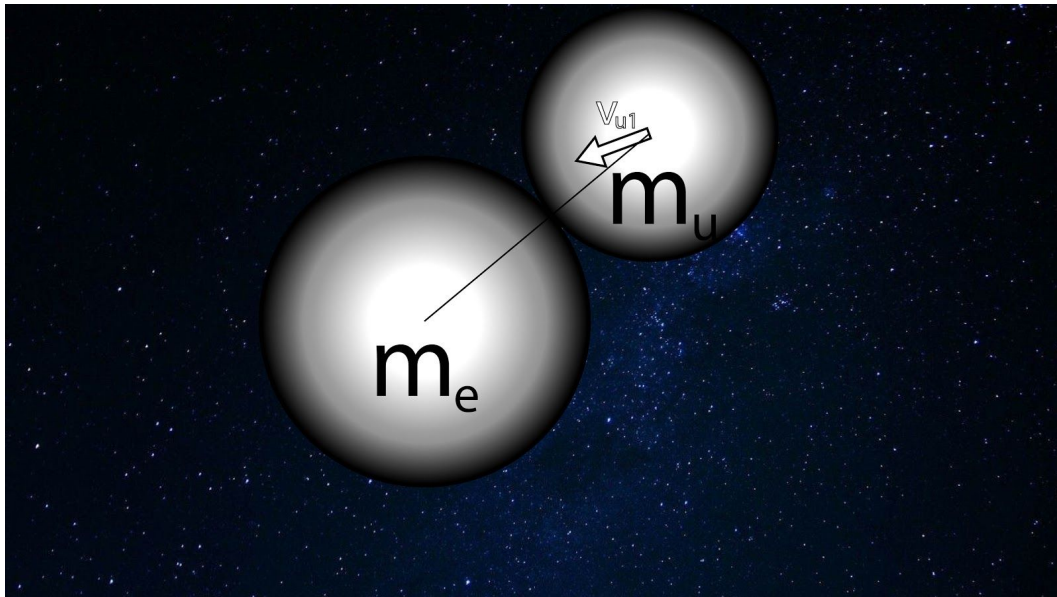
kommer dess hastighetsvektor alltid verka på det plan (rektangeln) som skapas mellan objekt A och objekt B, eftersom hastighetsvektorn hos objekt A verkar i samma riktning som kanten på planet. Därmed har visats att en situation före en kollision mellan två objekt alltid kan betraktas som tvådimensionellt.

Vid punkten för kollisionen kommer respektive objekts rörelsemängd efter kollisionen kunna beräknas med hjälp av den resulterande rörelsemängden före kollisionen. Ifall de två ingående objekten tredimensionella objekten kolliderar på så sätt att linjen mellan deras mittpunkter ligger parallellt med planet objekten rör sig utmed kommer en perfekt tvådimensionell kollision ske vilket innebär att de två tredimensionella objekten kommer röra sig utmed samma tvådimensionellt plan som före kollisionen (se figur 11).



Figur 11. Illustrationen visar en situation precis vid punkten för en kollision mellan objekt A och objekt B. Då linjen mellan objekternas mittpunkter är parallell med planet objekten rör sig utmed (hastighetsvektorn för objekt B före kollisionen i det här fallet) kommer kollisionen att vara perfekt tvådimensionell. Koordinataxlarna är utformade så att hastighetsvektorn för objekt A verkar i samma riktning som Z-axeln, utåt ur bilden. X-axeln är horisontell och har positiv riktning till höger i figuren och Y-axeln är vertikal och har positiv riktning uppåt i figuren.

I praktiska scenarion med återkoppling till skyddande av jorden mot extraterrestriella objekt kommer linjen mellan det uppskickade objektets mittpunkt och EO sannolikt inte vara parallell med planet som objekten rör sig utmed. Detta sker eftersom att det uppskickade objektet troligtvis anländer vid punkten för kollisionen en tid tidigare eller senare än EO eller ifall det uppskickade objektets trajektoria inte fullskaligt skär trajektorian för EO. Då kommer följande scenario kunna uppstå vid punkten för kollisionen (se figur 12).

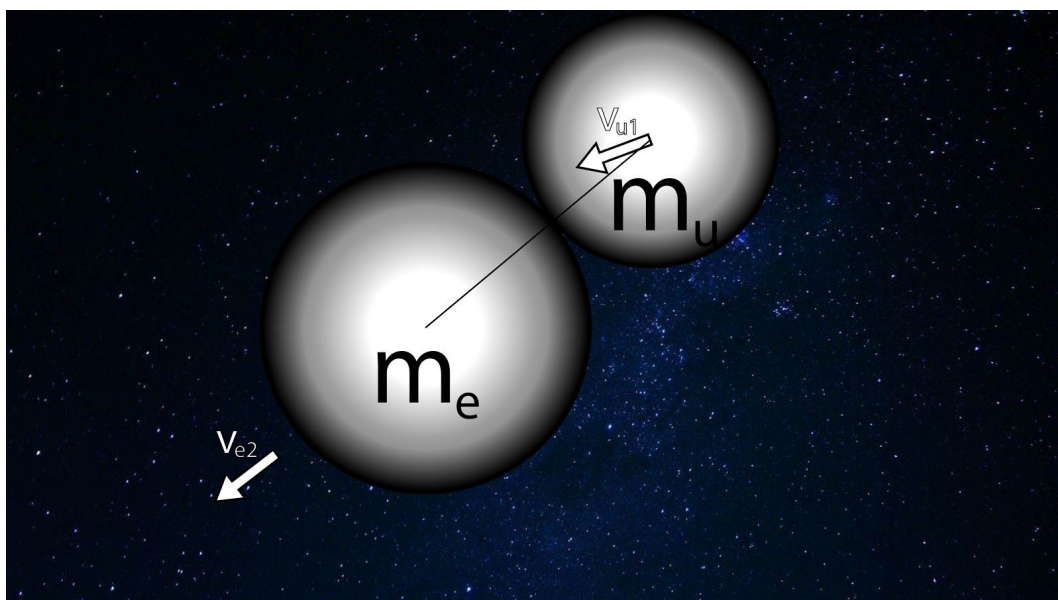


Figur 12. Illustrationen visar en situation precis vid punkten för en kollision mellan det uppskickade objektet och EO. Då linjen mellan objektens mittpunkter inte är parallell med planet objekten rör sig utmed kommer kollisionen att vara tredimensionell. Koordinataxlarna är utformade så att hastighetsvektorn för objekt A verkar i samma riktning som Z-axeln, utåt ur bilden. X-axeln är horisontell och har positiv riktning till höger i figuren och Y-axeln är vertikal och har positiv riktning uppåt i figuren.

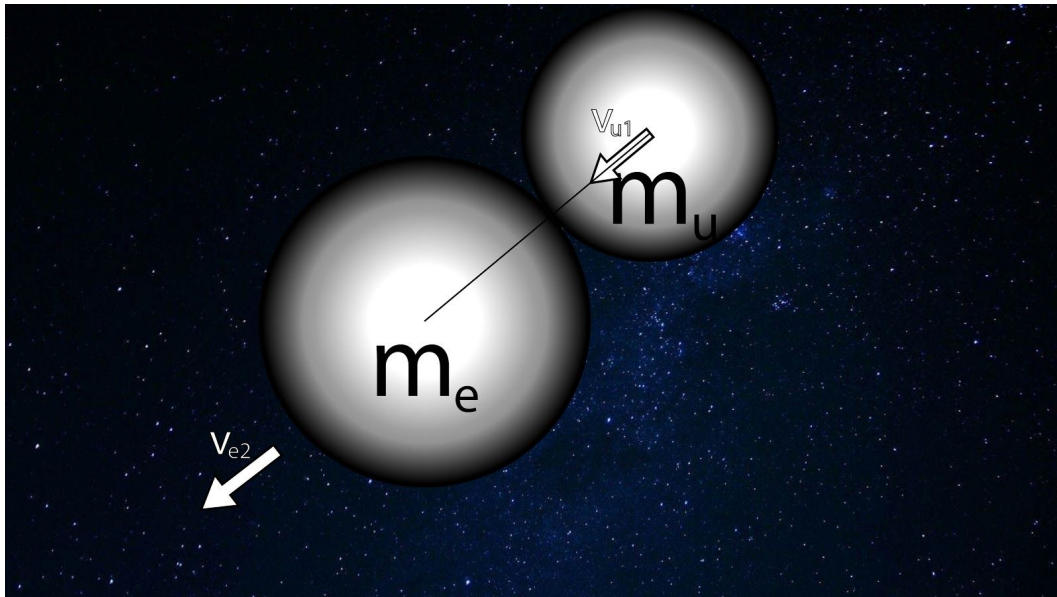
I ovanstående scenario kommer det alltså ske en tredimensionell kollision eftersom de två objekten kommer genom kollisionen färdas inom tre led. Noterbart är att rörelsen för de två objekten efter kollisionen fortfarande kan betraktas som utmed ett tvådimensionellt plan. Dock är detta plan och det plan som objekten rör sig utmed före kollisionen olika riktade vilket innebär att kollisionen är tredimensionell då ett fast koordinatsystem används.

I en tredimensionell kollision kommer överföringen av rörelsemängd inte att vara lika effektiv som vid en perfekt tvådimensionell kollision. Detta eftersom det uppskickade objektet träffar EO med en vinkel mellan det tvådimensionella planet objekten rör sig utmed och linjen mellan objektens mittpunkter vid punkten för

kollisionen. Detta medför att den rörelsemängd som EO får efter kollisionen vid en tredimensionell kollision inte blir lika stor i den önskade riktningen som den skulle blivit vid en perfekt tvådimensionell kollision. Eftersom en perfekt tvådimensionell kollision medför en maximal överföring av rörelsemängd innebär det att det effektivaste sättet för att överföra rörelsemängd mellan två objekt är att ordna en perfekt tvådimensionell kollision på så sätt att EO får den önskade riktningen efter kollisionen. Detta förtydligas med hjälp av följande illustrationer (se figur 13 och figur 14).



Figur 13. Illustrationen visar en situation precis vid punkten för en kollision mellan det uppskickade objektet och EO. v_{e2} betecknar hastighetsvektorn för EO efter kollisionen. v_{u1} betecknar hastighetsvektorn för det uppskickade objektet före kollisionen. Hastighetsvektorn för EO är i positiv Z-led, det vill säga ut ur bilden. Observera att hastighetsvektorerna inte är exakta utan approximationer för att förtydliga scenariot. Eftersom det uppskickade objektet träffar EO med en vinkel mellan planet objekten rör sig utmed före kollisionen och linjen mellan objektens mittpunkt kommer endast en andel av rörelsemängden i den önskade riktningen överföras från det uppskickade objektet till EO.

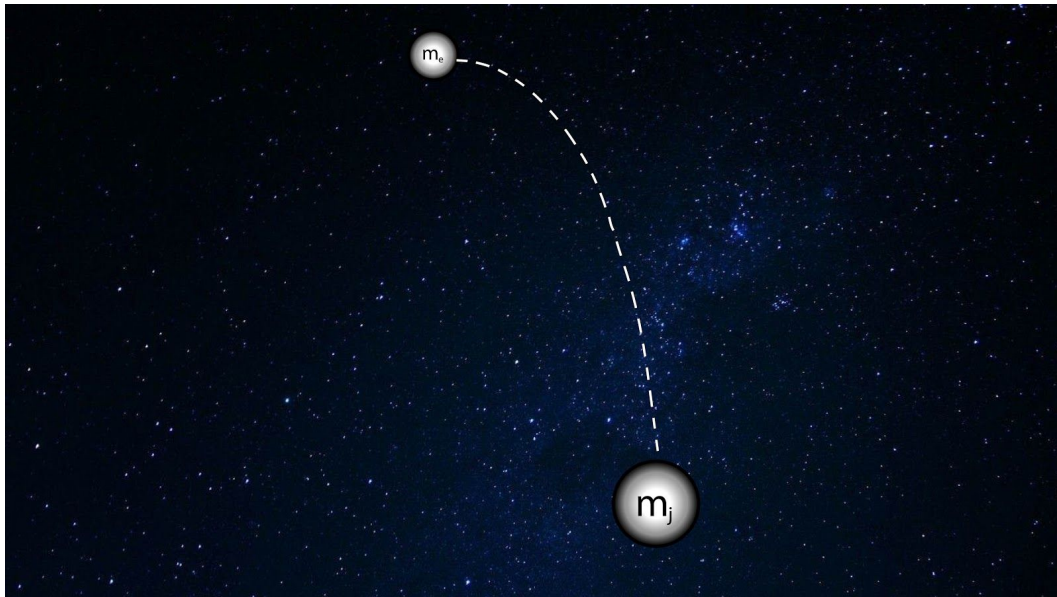


Figur 14. Illustrationen visar en situation precis vid punkten för en kollision mellan det uppskickade objektet och EO. v_{e2} betecknar hastighetsvektorn för EO efter kollisionen. v_{u1} betecknar hastighetsvektorn för det uppskickade objektet före kollisionen. Hastighetsvektorn för EO är i positiv Z-led, det vill säga ut ur bilden. Observera att hastighetsvektorerna inte är exakta utan approximationer för att förtydliga scenariot. Eftersom detta är en perfekt tvådimensionell kollision där linjen mellan de ingående objektens mittpunkter är parallell med planet de två objekten rör sig utmed före kollisionen kommer maximal rörelsemängd överföras från det uppskickade objektet till EO. Detta innebär, som förklarat i texten ovan, att då det uppskickade objektet ordnas så att EO får en önskad riktning efter kollisionen kommer denna typ av kollision vara den mest utslagsgivande.

Det uppskickade objektet kommer att kunna ordnas helt fritt, vilket gör att en perfekt tvådimensionell kollision med EO:s hastighetsriktning efter kollisionen fast inkluderad i beräkningarna är den effektivaste metoden att använda sig av då det uppskickade objektet överför maximal rörelsemängd till EO. Med detta förklarat kan slutsatsen dras om att en kollision mellan två objekt sker på ett tvådimensionellt plan förutsatt att objekten ska överföra maximal rörelsemängd

till varandra. Därav räcker det med att bevara den endimensionella samt den tvådimensionella kollisionen som potentiella alternativ till metoden kollision.

Endimensionella kollisioner som möjligheter till denna metod ska tas upp återigen med resonemanget om att maximal rörelsemängd överförs om linjen mellan de ingående objektens mittpunkter är parallell med hastighetsvektorn. På samma sätt som att det överförs mer rörelsemängd på det avsedda planet vid en perfekt tvådimensionell kollision än vid en godtycklig tredimensionell kollision kommer det på den avsedda linjen överföras mer rörelsemängd vid en endimensionell kollision än vid en perfekt tvådimensionell kollision. Den effektivaste kollisionen kommer alltså ske då det uppskickade objektets hastighetsvektor före kollisionen är parallell med linjen mellan det uppskickade objektets och EO:s mittpunkter vid punkten för kollisionen. Vad som följer är alltså en beskrivning av hur den endimensionella kollisionen kan användas på effektivast sätt för att utnyttja dess potentiella maximala överföring av rörelsemängd. Vid en sådan endimensionell kollision kommer det utnyttjas att EO har en självständigt trajektoria som påverkas av samtliga objekt runt omkring den. Då EO befinner sig utanför hillsfären kommer dess relation till jorden inte längre att betraktas som ett tvåkropparssystem eftersom att jorden då inte längre utgör den största påverkan på EO.³¹ Förutsatt att EO befinner sig utanför den kan EO betraktas ha en större omloppsbana oberoende av jordens gravitationskraft (se figur 15).



Figur 15. Illustrationen visar EO:s (vars massa betecknas m_e) trajektoria gentemot jorden (vars massa betecknas m_j). Då EO:s trajektoria passerar genom jorden, vilket den gör i illustrationen, kommer EO att kollidera med jorden. Observera att objekten ej är skalenligt ritade.

Radien som EO:s tänkta omloppsbana antar beskrivs med följande samband:

$$r = \frac{mv^2}{F}$$

Som härstammar från formeln för centripetalkraft:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

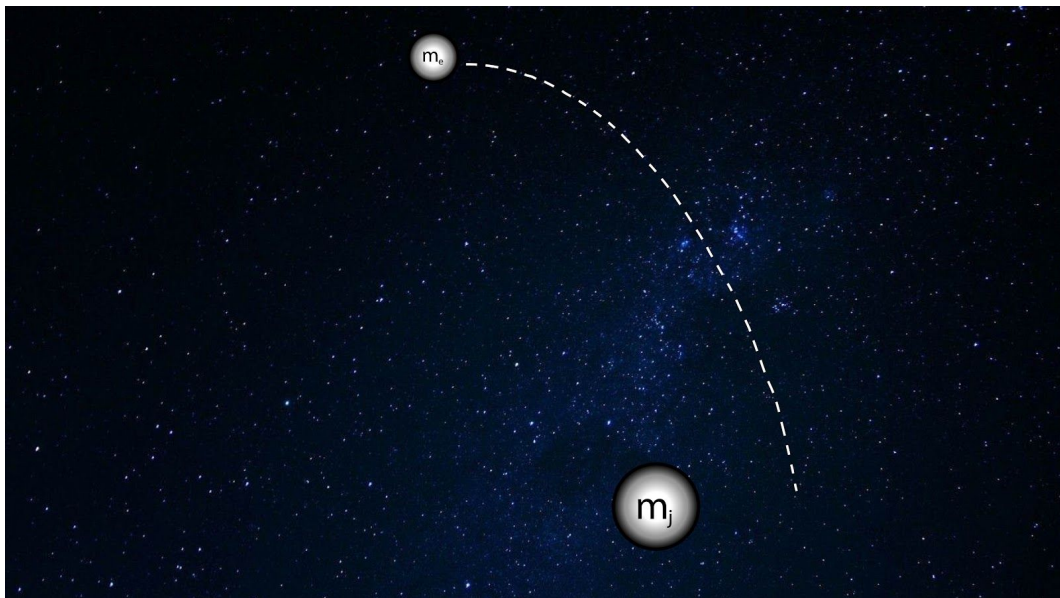
Från det sambandet inses att då hastigheten hos objektet ökar, ökar även radien för objektets omloppsbana.

För att skydda jorden mot nedslag av EO skapar man en kollision mellan det uppskickade objektet och EO. För att göra kollisionen så effektiv och energisnål som möjligt behöver man inte vända EO vare sig 180 grader eller en annan godtycklig vinkel större än 0 grader utan istället utnyttjar man det tidigare förklarade faktum att då hastighetsvektorn för det uppskickade objektet före kollisionen är parallell med linjen mellan objektets mittpunkter, kommer maximal

rörelsemängd att överföras. Det uppskickade objektet ska alltså färdas i samma eller motsatt riktning som EO utan att nödvändigtvis ändra riktning på det. Då det uppskickade objekten färdas i samma riktning som EO kommer den totala rörelsemängden bli summan av de två ingående objektens rörelsemängd före kollisionen. Eftersom det uppskickade objektet inte kan uppnå en högre hastighet än vad EO har efter kollisionen, kommer hastigheten hos EO att öka efter kollisionen jämfört med före kollisionen. Detta innebär att trajektorian hos EO förändras på så sätt att radien på dess tänkta omloppsbana ökar enligt sambandet:

$$r = \frac{mv^2}{F}$$

Vilket visas i följande illustration (se figur 16)

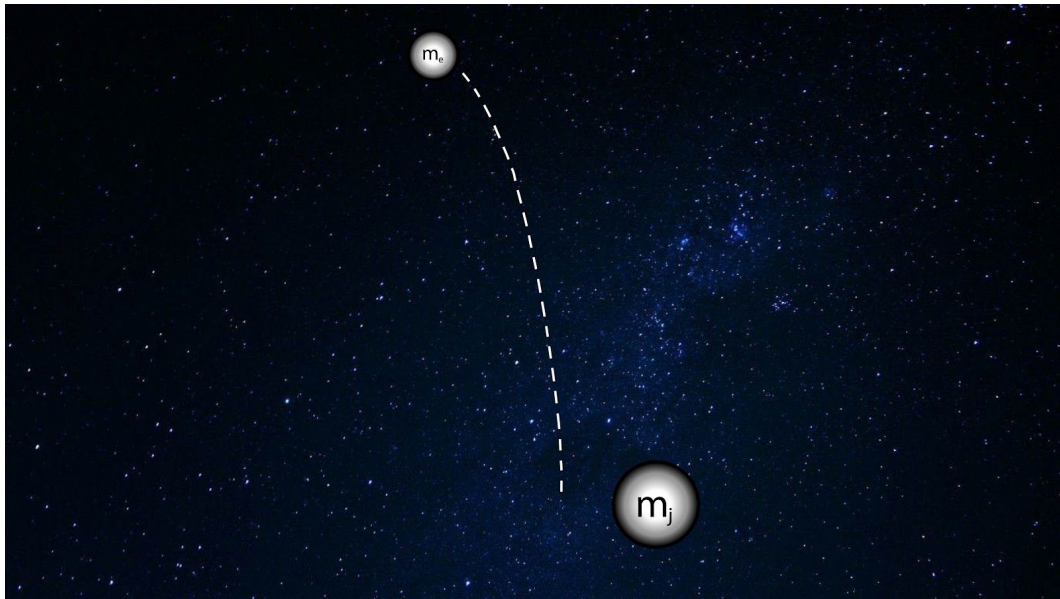


Figur 16. Illustrationen visar EO:s trajektoria gentemot jorden. I detta scenario har EO:s trajektoria vidgats från ursprungstrajektorian (se streckade linjen) med hjälp av en hastighetsökning vilket innebär att EO inte kommer att kollidera med jorden. Observera att objekten ej är skalenligt ritade.

På motsvarande sätt kommer en hastighetsminskning av EO, det vill säga efter en kollision då det uppskickade objektet har en motsatt riktad hastighetsvektor till EO, medföra att radien hos EO:s tänkta omloppsbana minskar enligt sambandet:

$$r = \frac{mv^2}{F}$$

Då kommer följande scenario utspela sig (se figur 17).



Figur 17. Illustrationen visar EO:s trajektoria gentemot jorden. I detta scenario har EO:s trajektoria komprimerats från ursprungstrajektorian (se streckade linjen) med hjälp av en hastighetsminskning vilket innebär att EO inte kommer att kollidera med jorden. Observera att objekten ej är skalenligt ritade.

Gravitationsdragning

Gravitationsdragning är en avvärjande metod, vilket betyder att EO behöver accelereras eller retarderas. Detta löses praktiskt genom två scenarion. Alternativ 1 är att EO accelereras. Då sätts rymdfarkosten mellan EO och Jorden varpå en kraft, och därmed en acceleration, mot Jorden skapas. Alternativ 2 är att EO retarderas. Då sätts rymdfarkosten "bakom" EO gentemot Jorden, så att EO är mellan rymdfarkosten och Jorden. Då kommer en kraft, och därmed en acceleration, bort från Jorden skapas.

Gravitationsdragning är beroende av olika faktorer i olika stor utsträckning om EO:s massförhållande till rymdfarkosten varierar. Om man antar att objekt A och objekt B är ungefär likvärdiga i massa så kommer accelerationen av objekt A kunna beskrivas som följer:

$$F_1 = a_1 m_A = G \frac{m_A m_B}{r^2}$$

Vid division av massan för objekt A i båda led fås:

$$a_1 = G \frac{m_B}{r^2}$$

Då massan för objekt A är ungefär lika stor som massan för objekt B kan massan för objekt B ersättas med massan för objekt A vilket ger:

$$a_1 = G \frac{m_A}{r^2}$$

Därmed kan man anta att om massorna av de båda objekten är ungefär likvärdiga i förhållande till varandra så är accelerationen på objekt A endast omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet mellan objektens tyngdpunkter. Det troliga massförhållandet är att ena objektet, EO, är mycket större än det andra, rymdfarkosten. Accelerationen av EO är proportionerlig mot massan av rymdfarkosten och omvänt proportionell avståndet mellan de båda objekten:

$$F_1 = a_1 m_A = G \frac{m_A m_B}{r^2}$$

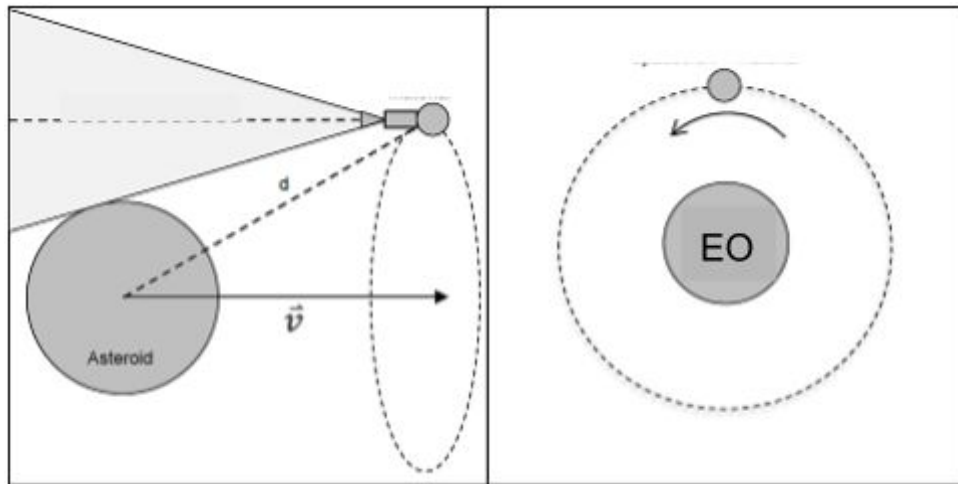
Vid division av massan för objekt A i båda led fås:

$$a_1 = G \frac{m_B}{r^2}$$

Därmed spelar massan en viktig roll i accelerationen av EO samtidigt som avståndet ska vara så litet som möjligt.

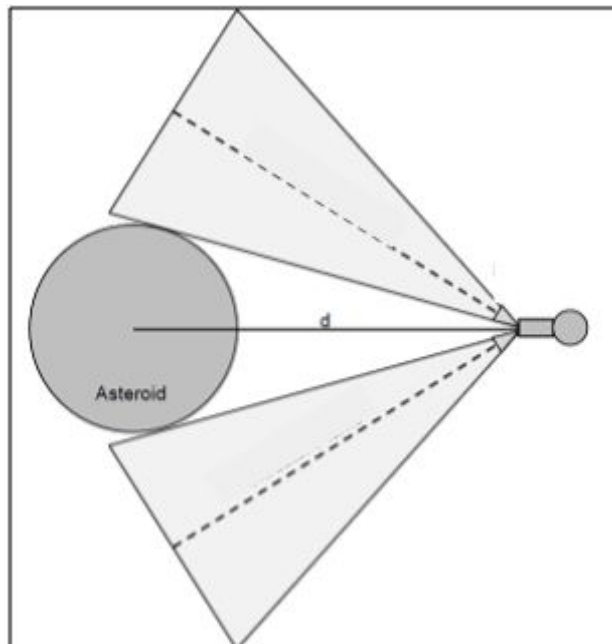
Det uppstår komplikationer med denna metod då Newtons tredje lag säger att två kroppar alltid påverkar varandra med lika stora men motriktade krafter; detta medför att även raketen kommer påverkas av en lika stor motriktad kraft som EO utsätts för. Då raketen högst troligt har mindre massa än EO, kommer dess acceleration vara större i jämförelse med EO. Detta medför att raketen kommer accelerera mot EO i hög grad och kommer därmed behöva en slags motor för att motverka den kraft som EO utövar på raketen. Denna motor skulle behöva utöva en kraft som är av lika stort absolutbelopp som kraften EO utövar mot rymdfarkosten, men med en kraftvektor som är riktad 180° från kraftvektorn mot EO. Detta måste vara en motor som antingen drivs från jorden eller kan utnyttja de förhållanden rymdfarkosten befinner sig i för att utvinna energi och omvandla till kraft.

En annan komplikation som uppstår i samband med motorn är en fundamental regel inom rymdfärd. Den har också sin grund i Newtons tredje lag. Normalt har den används till fördel inom rymdfärden, om rymdfarkosten släpper en del av sin massa, så kallad utkastmassa, åt ett håll i rymden så kommer rymdfarkosten att påverkas av en lika stor kraft som utkastmassan för iväg med fart i motsatt riktning. Då motorn kommer att avge utkastmassan 180° gentemot kraftvektorn bort mot EO så kommer EO påverkas av rörelsemängden hos utkastmassan och därmed skapa en kraftvektor bort från rymdfarkosten och därmed i motsatta riktning man är ute efter. Detta kan lösas med att rymdfarkosten snurrar kring EO och på så sätt avges utkastmassan på sidan av EO (delmetod 1). Detta görs med hjälp av motorerna och utnyttjandet av Newtons gravitationslag (se figur 18).



Figur 18. Illustrationen visar situationen där rymdfarkosten cirkulerar kring EO både från sidan och framifrån. Den visar även hur utkastmassan skulle bete sig.

En annan lösning (delmetod 2) till detta problem är att utkastmassan siktas på var sin sida om EO. Då motorerna skulle vara lika starka på båda sidor om EO resulterar detta i att kraftkomponenterna som verkar vinkelrätt mot rymdfarkostens önskade hastighetsvektor tar ut varandra. I och med att resultantkraften i det vinkelräta ledet är 0 så sker det inte någon acceleration längs kraftkomponenten i fråga. Kraftkomponenterna som verkar i linje med rymdfarkostens önskade hastighetsvektor, rätvinkligt mot den förstnämnda kraftkomponenten, skapar en acceleration direkt på rymdfarkosten och indirekt en acceleration på EO (se figur 19).



Figur 19. Illustrationen visar situationen där rymdfarkosten inte cirkulerar kring EO från sidan. Den visar även hur utkastmassan skulle bete sig.

Den lösning som troligtvis fungerar bäst är delmetod 1, det vill säga då rymdfarkosten snurrar runt EO. Detta då i delmetod 2 måste kraften som ges av motorerna som avger utkastmassan vara exakt lika, annars kommer det finnas en risk att den kolliderar med EO. Om det blir ett tekniskt fel i någon av motorerna skulle därmed metoden kunna stjälpa mer än att hjälpa. Sedan finns det en risk att delmetod 1 inte heller fungerar, men detta är mindre troligt då det skulle vara ett resultat av yttre krafter som skulle kunna störa det kraftsystem som utgörs av EO och rymdfarkosten. Anledningen till att det skulle krävas yttre krafter för att störa kraftsystemet är för att delmetod 1 förlitar sig på en naturlag som är allmänt accepterad, Newtons tredje rörelselag. En annan anledning är för att motorerna som driver rymdfarkosten endast behöver få en resultantkraft som är exakt i ett led, detta är lätt att anpassa då inte utkastmassan behöver tas i hänsyn. Ett annat starkt argument för delmetod 1 är det faktum att rymdfarkosten kan befinna sig

närmare EO i jämförelse med delmetod 2. Detta som ett resultat av att ju närmare rymdfarkosten befinner sig i delmetod 2 desto mer behöver utkastmassan skjutas vinkelrätt mot önskade hastighetsvektorn. Därmed tappar man kraft i önskad riktning och mer utkastmassa behöver användas. Dock är resonemanget i detta argument endast baserat på sunt förnuft samt logik och har därmed ingen grund i en empirisk studie. Sammanfattningsvis finns det lösningar på de komplikationer som uppstår och vid valet av lösning är den mest rimliga lösningen delmetod 1.

Explosion

Explosion är i huvudsak en oblitererande metod, vilket betyder att målet är att obliterera EO. Detta görs så fort som möjligt efter att valet att genomföra en oblitererande metod har fastställts. Anledningen till att man ska obliterera så tidigt som möjligt är att EO kommer att fragmenteras och fragmenteringen sprids radiellt bort från kärnan av explosionen. Detta innebär att fragmenten i förhållande till arean minskar. Detta innebär att antalet fragment minskar ju längre tid fragmenten färdas. Anledningen till att EO fragmenteras och att dessa fragment sprids i alla riktningar är på grund av att explosionen skapar en chockvåg precis vid explosionen vilken har hög energinivå och detta resulterar i att materialet runt bomben fragmenteras och följer chockvågen.⁵¹ För att härleda formeln för fragmenten i förhållande till arean så kan formeln för ljudintensitet med fördel användas för att förstå matematiken.

$$I(r) = \frac{P}{4\pi r^2}$$

I är ljudintensiteten, P är ljudstyrkan uttryckt i Watt och r är radien från ljudkällan. Ersätt ljudintensiteten med intensiteten av fragment och ersätt effekten med antal fragment:

$$If(r) \propto \frac{f}{4\pi r^2}$$

⁵¹ Jean-Loup Gassend (2014) "What Can Be Learned from Shell Fragments? Examples from World War II Battlefields in the Maritime Alps, Journal of Conflict Archaeology"

If är fragmentsintensiteten, f är antalet fragment och r är radien från kärnan av explosionen. Dessa ekvationer har samma utseende då vågen med fragment kommer att följa chockvågen som skapas av explosionen och ljudintensitetens ljudvåg sprider ut sig sfäriskt på samma sätt som en chockvåg. Detta då en chockvåg är en Anledningen till att funktionen för fragmentsintensiteten ej kan likställas är på grund av att resonemanget att relationen är densamma kan dras men då fragmentsintensitet ej är en vedertagen fysikalisk enhet så kan ej denna ekvation likställas såsom funktionen för ljudintensitet. Dock så kan man dra slutsatsen från funktionen för fragmentsintensiteten att fragments intensitet är proportionerlig till antalet fragment.

$$If \propto f$$

Man kan även se att fragments intensitet är omvänt proportionell mot kvadraten av avståndet från explosionen.

$$If \propto \frac{1}{r^2}$$

Då fragmenten har en hastighet bort från kärnan så ökar radien beroende av tiden enligt följande samband:

$$r(t) = v \times t$$

Detta samband kan substitueras in i sambandet för fragmentsintensiteten vilket ger en sammansatt funktion av två oberoende funktioner. Funktionen för fragmentsintensiteten är följande:

$$If(r) \propto \frac{f}{4\pi r^2}$$

Vid substitution av funktionen för radien med avseende på tiden i funktionen för fragmentsintensiteten erhålls följande funktion:

$$If(r(t)) \propto \frac{f}{4\pi(r(t))^2}$$

Vilket omskrivs till:

$$If(t) \propto \frac{f}{4\pi v^2 t^2}$$

Ovanstående funktion beskriver alltså fragmentsintensiteten med avseende på tiden.

Att radien är beroende av tiden gäller då F_{res} på fragmenten efter explosionen är 0 och därmed är hastigheten konstant. Därmed följer radien en linjär ökning, det vill säga när tiden ökar så ökar radien proportionellt mot tiden. I härledningen ovan kan man urskilja att fragmentsintensiteten endast är beroende av tiden t då antalet fragment f är konstant och hastighet v enligt resonemanget ovan också är konstant. Då fragmentsintensiteten är omvänt proportionell mot kvadraten av tiden så avtar fragmentsintensiteten då tiden ökar:

$$If \propto \frac{1}{t^2}$$

Energiinnehållet i bomben måste vara stor nog för att obliterera asteroiden och denna energimängd ges av ekvationen⁵²

$$E = \frac{3GM^2}{5r}$$

där G gravitationskonstanten, M är massan av objektet i fråga och r är objektets radie. Detta är dock ett uppskattningsvärde då ekvationen förutsätter att EO är sfärisk och att densiteten är konstant. De komplikationer som uppstår är att energin kommer att behöva vara mycket stor om EO ska obliteras och även om energikravet uppfylls så kommer det inte vara säkert att bomben lyckas fragmentera EO på så sätt att fragmenten är mindre än vad som krävs för att de ska brinna upp i atmosfären. Detta är en komplikation som inte kommer att gå att lösa då för många reaktioner och krafter verkar på systemet. Därmed är metoden explosion svår att förutse resultatet av alla samverkande krafter.

⁵² Lang, K. R. *Astrophysical Formulae*. Springer Verlag, 1980.

Motor

Motor är en avvärjande metod, vilket betyder att EO behöver accelereras eller retarderas. Detta löses praktiskt genom två scenarion. I båda scenarierna fästs motorn på EO och avger utkastmassa bort från EO för att skapa en kraftvektor och därmed en acceleration i önskad riktning. Om EO behöver accelereras sätts motorn “bakom” EO gentemot Jorden, så att EO är mellan motorn och Jorden. Därmed skapas en acceleration mot Jorden. Om EO behöver retarderas sätts motorn “framför” EO gentemot Jorden, så att motorn är mellan EO och Jorden. Därmed skapas en acceleration bort från Jorden, med andra ord en retardation mot Jorden.

Komplikationerna som uppstår med denna metod är ganska lika de för gravitationsdraging. Motorn kommer med största sannolikhet inte kunna transportera tillräckligt mycket energi, i form av bränsle, för att accelerera eller retardera EO tillräckligt mycket. Detta då rymdfarkosten använder mycket energi för att transportera motorn till EO och ju mer bränsle som transporteras, ju mer bränsle används i transporten. Dessutom finns det en maxlast som raketerna som skjuter upp motorn klarar av. Utöver detta kommer EO troligtvis kräva ett stort totalt arbete för att accelerera eller retardera EO. Sambandet mellan energi och kraft ges av

$$W = F \times s$$

där W är arbetet utfört i joule, F är kraften som skapar förflyttningen och s är sträckan förflyttningen sker på. Att inte energin som är nödvändig för att skapa accelerationen/retardationen kommer kunna transporteras i samband med uppskjutningen av motorn innebär att en annan energikälla är nödvändig. Detta löses genom att energikällan såsom i gravitationsdraging drivs från jorden eller om motorn kan utnyttja de förhållanden man befinner sig i för att utvinna energi och omvandla till kraft. En möjlig lösningen skulle vara att använda en jon-motor vilket förklaras närmare i underrubriken metoder.

Laser

Laser är en avvärjande metod, vilket betyder att EO behöver accelereras eller retarderas. Detta löses på ett annorlunda sätt än de andra avvärjande metoderna. Den skapar likt motorn en acceleration mot önskad riktning som en följd av utkastmassan som avges av antingen sublimation eller förångning av materialet på EO. Att skjuta mot EO såsom beskrivs ovan kommer att skapa en retardation bort från Jorden.

Komplikationer som uppstår med denna metod är att lasern endast kan skjuta på den sida av asteroiden som vetter mot Jorden. Detta som en följd av att lasern kommer att stå på Jorden och ljus går rakt ut från lasern och har samma riktning vid kontakten med EO. Om EO istället behöver accelereras mot Jorden så behövs en annan lösning. En lösning på denna komplikation skulle kunna vara att installera en laser i närheten på exempelvis en rymdfarkost som kan skjuta en laserstråle från bakre sidan av EO sett till Jorden. Detta skulle dock kräva mycket energi vilket är svårt att transportera upp med rymdfarkosten, vilket även nämns i diskussionen för motor. En bättre lösning skulle kunna vara att installera en spegel på en rymdfarkost som befinner sig bakom EO. Detta skulle leda till att man kan skjuta laserstrålen mot spegeln och strålen reflekteras mot en specifik punkt på EO. I detta fall är det mycket viktigt att spegeln är helt slät då laserstrålen annars kan brytas olika på olika ställen och då skulle laserstrålen tappa energi då strålarna inte längre är koherenta.

Metodernas lämplighet utifrån diverse förutsättningar

Till att börja med diskuteras de olika förutsättningarna i sig, det vill säga att vi diskuterar kring bland annat valet och vikten av samtliga förutsättningar.

Förutsättningen tid valdes med anledningen av det enorma tidskravet som många metoder delar. Gemensamt för samtliga metoder är att ju längre tid man har, desto större sannolikhet är det att metoden framgångsrikt skyddar jorden mot det hotande EO i fråga. Tid innehar även en annan viktig aspekt, nämligen den att det är dimensionen tid, tillsammans med rum, som avgör ifall kollisionen mellan jorden och EO överhuvudtaget sker. Detta eftersom att jorden och EO är två fria objekt som rör sig med fullständigt oberoende trajektorier relativt till varandra. För att kollisionen mellan jorden och EO ska ske måste de befinna sig på samma punkt i rymden vid samma tidpunkt. Om man därav förskjuter tiden till det förväntade nedslaget kan man undvika kollisionen. Tiden är alltså en viktig förutsättning som valet av metod mer eller mindre grundar sig i eftersom att särskilda metoder lämpar sig till situationer då tidsrummet är litet medan andra metoder fungerar bäst om tidsrummet är stort. Den tid som finns till förfogande från att EO upptäcks tills dess att den kolliderar med jorden skiljer sig beroende på typen av EO. Ett potentiellt nedslag av ett jordnära objekt skulle vi känna till långt i förväg med tanke på den utbredda kartläggningen av jordnära objekt som presenterades i bakgrunden. Eventuellt skulle mindre jordnära objekt ha en trajectoria mot jorden utan att vi kände till det långt i förväg men dessa är sannolikt mycket små och skulle därav inte utgöra något globalt hot mot jorden. Ett potentiellt nedslag av interstellär materia skulle däremot vara värre i det avseende att vi skulle känna till faran väldigt sent i sammanhanget, troligtvis inom några få månader före det potentiella nedslaget. Detta eftersom att dessa typer av objekt kommer från yttre rymden och inte rör sig i omloppsbana runt solen vilket gör att vi inte har någon kartläggning av dem samt att de kan ha flera gånger högre hastigheter än jordnära objekt.

Ur ett samhällsorienterat perspektiv är det svårt att avgöra när man bör gå ut till allmänheten om att ett potentiell EO nedslag kommer ske med tanke på olika faktorer. Avslöjar man för tidigt att en potentiellt EO nedslag kommer att ske kan man riskera att skapa ett falskt alarm vilket skulle skapa global kris i onödan. Väljer man däremot att vänta med alarmet då man är osäker på om asteroiden verkligen träffar jorden eller ej kommer den tillgängliga tiden för att motverka katastrofen minimeras ifall EO slutligen träffar jorden.

Förutsättningen realism valdes med i detta projekt för att värdera metoderna efter hur välutvecklade de är i nutid. Eftersom förutsättningen realism utgår från hur stor sannolikheten att metoden lyckas fram tills dess att själva oblitereringen/avvärjningen, beroende på metod, av EO tar fart, förefaller de redan välutvecklade och testade metoderna bättre utifrån denna förutsättning. Skulle ett eventuellt EO nedslag upptäckas för att ske inom kort, exempelvis senare samma år, är det nödvändigt att veta realismen för valbara metoder för att kunna välja en. Vissa av de utforskade metoderna fungerar mycket bra utifrån övriga förutsättningar, men är inte realistiska på grund av det tidiga stadiet i utvecklingsprocessen, vilket gör att de är oanvändbara vid ett nutida EO nedslag.

Dock används denna förutsättning även för att diskutera realismen hos de utforskade metoderna i en möjlig framtid då de har fått utvecklats. Som förklarar tidigare är vissa metoder dåliga utifrån förutsättningen realism eftersom de fortfarande ligger långt bak i utvecklingsstadiet. Däremot kan de fungera väldigt bra i framtiden då forskning och annat har lett till ett avancemang av metoden.

Förutsättningen säkerhet är förmodligen en av de allra viktigaste förutsättningarna då den speglar den sannolikheten metoden i fråga har att lyckas från dess att oblitereringen eller avvärjningen, beroende på metod, gjorts. Eftersom målet är att skydda jorden från nedslag av extraterrestriella objekt är det en självklarhet att de

metoder med störst sannolikhet att lyckas skydda jorden är bäst utifrån förutsättningen säkerhet. Noterbart är att samtliga metoder anses fullt bra utifrån förutsättningen tid när man analyserar denna förutsättning eftersom det enbart är händelserna efter själva utförandet som är det centrala. Liksom förutsättningen realism kommer denna förutsättning förbättras för samtliga metoder i och med att de fortsätter testas och utvecklas och där är även, på samma sätt som med realism, säkerheten i dagsläget som analysen utgår från.

Förutsättning komposition är även den viktig då den självständigt kan avgöra vilken metod som är bäst eller sämst vid olika scenarion. Vissa metoder lämpar sig inte alls för vissa typer av komposition medan andra gör det bättre. Exempelvis behöver inte EO:n bestå av ett ensamt hållfast klot utan möjligtvis en porös massa eller flera mindre kroppar av varierande hållfasthet som rör sig tillsammans. Det finns utöver dessa mängder av andra typer av kompositioner som EO kan ha vilket vi på förhand inte vet. En annan anledning till att denna förutsättning valdes var för att testa bredden av metodernas användningsområden, det vill säga för hur många olika typer av objekt som metoderna kan skydda jorden från. Utgår samtliga existerande metoder från en viss komposition har vi ett enormt problem eftersom vi då inte har någon möjlighet att skydda jorden ifall kompositionen skulle vara en annan. De bästa metoderna utifrån förutsättningen komposition är därav de metoder som hanterar flest typer av kompositioner på de ankommande extraterrestriella objektet.

Att entydigt bestämma vilken metod som är bäst utan att ta hänsyn till några förutsättningar går inte, på grund av att alla metoder fungerar bättre eller sämre beroende på just förutsättningarna. För att diskutera fram vilka metoder som är bäst lämpade utifrån diverse förutsättningar måste man därmed presentera förutsättningarna. Med tanke på det enorma antal kombinationer som förutsättningarna kan ha, presenteras en rad ordinära, relativt vanligt förekommande samt nämnvärda scenarion i texten nedan.

Först och främst utgår vi från tillgången av tid är väldigt liten, det vill säga att det EO som man upptäckt slår ned på jorden inom kort. Oberoende av de andra förutsättningarna går det att komma fram till vilken metod som är bäst i detta scenario. Den metod som kräver minst tid för att uppfylla målet att skydda jorden från eventuellt nedslag av EO är generellt mindre tidskrävande eftersom de fullt ut gör sig av med EO:n. De avvärjande metoderna kräver mer tid för att framgångsrikt skydda jorden mot nedslag eftersom de, liksom namnet antyder, avvärjer EO vilket ger den en ny trajektor. För samtliga avvärjande metoder är tiden en avgörande förutsättning som avgör ifall nedslaget blir av eller inte. Ju mindre tillgången av tid är, desto mer energi kommer krävas för att metoderna ska kunna ändra EO:s trajektor så pass mycket att den inte kolliderar med jorden. Därmed kan man säga att oblitererande metoder generellt fungerar bättre då tidsutrymmet är litet. Observera att detta är väldigt generellt och stämmer inte i alla fall eftersom i verkligheten spelar andra förutsättningar in samt att definitionen av ett litet tidsutrymme är relativt, det vill säga att för vissa metoder är X antal år en lång tidsperiod medan för andra är det en väldigt liten tidsperiod.

Vad gäller de avvärjande metoderna är det svårare att rangordna deras lämplighet enbart utifrån förutsättningen tid eftersom att de fungerar snarlikt i den aspekten. Dock går det att säga att de metoder som tillämpar mest energi på kortast tid är de metoder som är bäst lämpade då tidsutrymmet är litet. Till exempel kan en kollision avvärja EO väldigt snabbt medan en motor inte tillämpar lika mycket energi per tidsenhet. Dock skulle en kollision med ett mindre objekt inte ha samma möjligheter att överföra lika mycket energi som en stark jonbaserad motor. För att vidare bestämma vilken av de två metoderna som är den bäst lämpade måste man känna till övriga förutsättningar, såsom realism, det vill säga hur välutvecklade och fungerade metoderna är vid tiden för användningen av dem, eller komposition. Med detta resonemang inser man att det helt enkelt inte går att

säga något om vilken av de avvärande metoderna som är bäst lämpad då tidsutrymmet är litet.

Utgår man från en situation där EO är extremt porös, vilket innefattas i förutsättningen komposition och fortfarande med utgångspunkten att det är den enda gällande förutsättningen, kommer metoden gravitationsdragning vara den klart bästa med tanke på dess oberoende av EO:s komposition. Till skillnad från de övriga metoderna fungerar gravitationsdragning lika bra på ett poröst EO som en hållfast EO. Notera att ett poröst EO även kan innebära en samling av mindre objekt som rör sig tillsammans på grund av gravitationskraften. De övriga avvärande metoderna kollision, motor och laser, fungerar enbart då EO i fråga består av hållfast materia av diverse anledningar. Metoden kollision innebär direkt kontakt mot EO vilket missgynnas då EO är en porös kropp. För att metoden laser ska fungera måste även då EO utgöras av en hållfast kropp för att kunna skapa utkastmassa på önskvärt sätt. Metoden motor skulle i teorin vara applicerbar på ett poröst EO då man har alternativet att fördela energin på flera ytor. Dock skulle detta anses orimligt då EO består av ett stort antal mindre sammanhängande objekt. Den obliterande metoden explosion har generellt sätt större möjligheter att framgångsrikt skydda jorden mot en porös EO än vad de nämnda avvärande metoderna har eftersom den har ett stort energiinnehåll, vilket kan överföras till närmsta beståndsdelarna oavsett om den är hållfast eller porös.

Sammanfattningsvis kommer alltså gravitationsdragning vara den klart bästa metoden utifrån enbart förutsättningen komposition eftersom det är den enda metoden som fungerar lika bra för samtliga typer av kompositioner. Komposition innefattar inte bara densiteten som diskuterats kring i den här paragrafen utan även form. Dock kan man generellt säga att EO:s form inte markant förändrar läget för metoderna utan deras möjligheter förändras ungefär likvärdigt. Eftersom gravitationsdragning är så överlägsen de andra metoderna vad gäller komposition i allmänhet och hållfasthet i synnerhet, kan man anta att gravitationsdragning är den näst intill uteslutande bäst lämpliga metoden då förutsättningen komposition

gynnar den, eller rättare sagt missgynnar de andra metoderna. Dock utgår detta från att ingen av de andra metoderna är särskilt extrema. Skulle till exempel EO:n vara porös men att samtidigt tidsutrymmet var väldigt litet, vilket diskuterades kring tidigare i diskussionen, kan det hursomhelst vara lämpligare att använda metoden explosion än gravitationsdragning.

Det som diskuterats ovan är hur diverse metoder gynnas av några möjliga förutsättningar. Dock gäller fortfarande principen att det entydigt inte går att bestämma vilken av den möjliga metoderna som är den bästa utan att känna till förutsättningarna. Det som diskuterades ovan är därmed exempel av hur tankegångarna vad gäller val av metod kan löpa när man kommer till en sådan situation. För att ge tydligare exempel och förklaringar på hur en metod kan väljas i ett verkligt scenario diskuterar vi i nedanstående paragraf vilken som är den bäst lämpade metoden för asteroiden 99942 Apophis.

Den bäst lämpade metoden för 99942 Apophis

År 2029 finns det en liten sannolikhet att det extraterrestriella objektet 99942 Apophis slår ned på jorden. Sannolikheten är ytterst liten, men väl befintlig. Därav vill vi, med stöd från all den information, forskning och resonemang som upptagits i detta arbete, bestämma vilken metod som är bäst lämpad för att skydda jorden från nedslag av 99942 Apophis.

99942 Apophis är en hållfast asteroid med en massa på $4 \cdot 10^{10}$ kg och en diameter på 330 meter. Den förväntade hastigheten vid nedslaget är 7433 m/s och asteroidens rörelseenergi är $4,973 \cdot 10^{16}$ J. EO:s rörelsemängd är:

$$p_e = m_e v_e$$

Insättning av värden ger:

$$p_e = 4 \cdot 10^{10} \cdot 7433$$

$$p_e \approx 2,9732 \cdot 10^{14} \text{ kgm/s}$$

EO:s eventuella nedslag på jorden förväntas vara den trettonde April 2029, vilket i skrivande stund är om ungefär 10 år.

<

För att bestämma vilken metod som bäst lämpar sig för ett specifikt EO, i detta fall 99942 Apophis, är det viktigt att ta hänsyn till alla förutsättningar som nämns i resultatet. I och med att det är tio år kvar till dess eventuella nedslag och den har en hastighet på 7433 m/s, kan dess avstånd som den färdas tills det eventuella nedslaget beräknas enligt följande samband:

$$s = v \cdot t$$

där v är hastigheten av EO uttryckt i meter per sekund (7433), t är tiden till förväntade kollisionen uttryckt i sekunder ($3,1536 \cdot 10^8$) och s är sträckan den färdas till kollisionen uttryckt i meter.

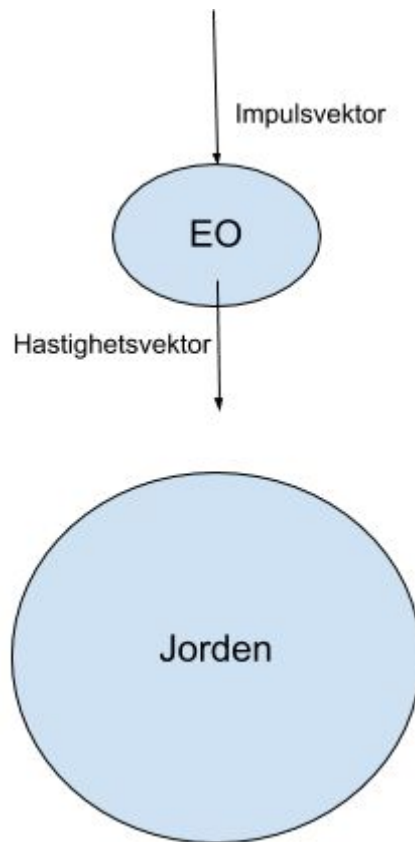
$$s = 7433 \cdot 3,1536 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$\approx 2,34 \cdot 10^{12} \text{ m}$$

Alltså kommer 99942 Apophis färdas ca 2,34 terameter innan det eventuella nedslaget på jorden. Om den antas träffa Jorden i mitten, det vill säga att det är lika långt från nedslagsplatsen till yttre delen av exosfären åt båda håll, innebär det att det inte spelar någon roll om EO accelereras eller retarderas i förhållande till Jorden ifall man använder sig av en avvärjande metod. Den totala tid som EO:s färd mot jorden måste öka eller minska med ges av 1099 s vilket framgår i bakgrunden. Detta löses genom att EO accelereras eller retarderas i samma riktning som EO:s hastighetsvektorn. För att räkna ut vilken impuls som behövs för att accelerera eller retardera EO behövs matematik som är väl över en gymnasieelevs kompetens. Detta då 99942 Apophis, och alla andra asteroider, befinner sig i en elliptisk bana. Detta leder till att man måste veta var på den elliptiska banan EO befinner sig, även vilken momentan hastighet den har och ellipsens omkrets (vilken kan bestämmas genom en oändlig potensserie⁵³) för att korrekt räkna ut hur stor impulsen behöver vara för att få EO att missa Jorden med önskat avstånd. Detta görs enklast med hjälp av simulationer som detta projekt inte har tillgång till. Om man förenklar problemet till att asteroiden färdas rakt mot Jorden kan ett närmevärde räknas ut för hur stor impuls som behövs. Impulsvektorn kommer verka mot Jorden enligt följande illustration (se figur 20):

⁵³ "Perimeter of Ellipse - Math is Fun."

<https://www.mathsisfun.com/geometry/ellipse-perimeter.html>. Öppnades 6 mars. 2019.



Figur 20. Illustrationen visar en situation för ett nedslag av EO på jorden. EO:s hastighetsvektor är utritad tillsammans med den impulsvektor som kommer att verka på EO.

Detta betyder att det behöver skapas en acceleration som är parallell med EO:s hastighetsvektor mot Jorden. Målet är att impulsen över en tidsperiod på 10 år skapar en acceleration mot eller från jorden så att EO missar jorden med en sträcka på 16371 km från mittpunkten. Denna acceleration kan räknas ut genom följande formel:

$$s = v_0(t_2) + \frac{a(\Delta t + t_1)^2}{2}$$

$$\Rightarrow a = \frac{2(s - v_0(\Delta t + t_1))}{(t_2)^2}$$

Där a är accelerationen uttryckt i meter per sekund i kvadrat, v_0 är ursprungshastigheten uttryckt i meter per sekund, s är sträckan uttryckt i meter, t är den tid som EO färdas under för att kollidera med jorden uttryckt i sekunder

och t_2 är den tid som EO behöver färdas på för att missa jorden uttryckt i sekunder. Notera dock att denna formel endast gäller om accelerationen är konstant.

Eftersom att:

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

följer att:

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

För denna analys av metoderna kommer vi anta att EO accelereras vilket gör att delta t blir negativt:

$$\Rightarrow t_2 = t_1 - \Delta t$$

Ursprungshastigheten är lika med 7433 m/s. Tiden asteroiden kan accelerera på är tio år eller ca 315 miljoner sekunder. Sträckan asteroiden färdas under denna acceleration fås genom att multiplicera hastigheten 7433 m/s med tiden till kollision ca 315 miljoner sekunder

$$s = vt = 7433 \times 315619200 = 2345997513600 \text{ m}$$

Sedan förs alla värden in . Accelerationen räknas ut.

$$a = \frac{2(2345997513600 - 7433 \cdot (315619200 - 1099))}{(315619200 - 1099)^2} = 1,64 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$$

För att räkna ut den konstanta kraften som krävs för att skapa den acceleration som räknats ut ovan används följande formel:

$$F = ma$$

Där F är kraften som utövas på asteroiden uttryckt i Newton, m är massan uttryckt i kilogram och a är accelerationen uttryckt i meter per sekund i kvadrat. Massan av asteroiden uppskattas vara $4 \cdot 10^{10} \text{ kg}$. Accelerationen räknades ut ovan och är $1,64 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$. Kraften räknas ut.

$$F = 4 \times 10^{10} \times 1,64 \times 10^{-10} \text{ N} = 6,56027369247 \text{ N} = 6,56 \text{ N}$$

Nu när kraften har räknats ut kan impulsen räknas ut genom följande formel:

$$I = F \times t$$

Där I är impulsen uttryckt i kilogram meter per sekund, F är kraften uttryckt i Newton och t är tiden uttryckt i sekunder. Kraften som påverkar asteroiden är 13

Newton. Tiden som kraften påverkar asteroiden på är 315 miljoner sekunder.

Impulsen räknas ut.

$$I = 6.6 \times 315619200 \text{ kgm/s} = 2068847911 \text{ kgm/s} \approx 2.1 \times 10^9 \text{ kgm/s}$$

Anledningen till att impulsen räknas ut är för att inte alla metoder har en konstant kraftpåverkan på asteroiden. Impulsen är ett mått på den totala kraften som påverkar objektet. Alltså skulle det i teorin fungera, om tiden varierar, att beräkna vilken kraft som behöver påverka asteroiden.

I och med att det är ont om tid, 10 år, kommer alla metoder förutom en ses som mindre lukrativa av detta faktum. Den metod som påverkas minst av den korta tiden är explosion då dess mål alltid är att obliterera EO. Det är endast säkerheten som förändras för explosion om tiden förändras. Därmed är metoden explosion bäst sett ur att det är 10 år kvar till nedslaget på jorden.

För att analysera metoderna utifrån förutsättningen realism kan impulsen med fördel användas. I metoden kollision kan man använda det faktum att impuls är förändring i rörelsemängd

$$I = \Delta p$$

Detta medför att förändringen i rörelsemängden hos asteroiden måste vara $2.1 \cdot 10^9$ kgm/s. Alltså måste det uppskickade objektet vars mål är att kollidera med EO överföra en rörelsemängd på $2.1 \cdot 10^9$ kgm/s till EO. Eftersom det uppskickade objektet träffar EO från sidan i det här fallet och EO färdas rakt nedåt kommer den rörelsemängd som EO har före kollisionen vara lika med 0. Rörelsemängden av EO efter kollisionen blir dess rörelsemängd innan adderat med den nödvändiga rörelsemängden för att avvärja den från att kollidera med jorden.

$$p_{e2} = p_{e1} + \Delta p$$

$$p_{e2} = 0 + 2068847911$$

$$p_{e2} \approx 2068847911 \text{ kgm/s}$$

Rörelsemängden hos det uppskickade objektet måste minska med den rörelsemängd som EO har efter kollisionen eftersom rörelsemängden hos EO ökade med just det värde och rörelsemängden bevaras vid kollisioner.

$$p_{u1} - p_{u2} = 2068847911$$

Vilket omskrivs till:

$$m_u v_{u1} - m_u v_{u2} = 2068847911$$

$$\Rightarrow m_u(v_{u1} - v_{u2}) = 2068847911$$

Rörelseenergin för de två ingående objektet skrivs som följande:

$$\frac{m_u v_{u1}^2}{2} + \frac{m_e v_{e1}^2}{2} > \frac{m_u v_{u2}^2}{2} + \frac{m_e v_{e2}^2}{2}$$

Vilket skrivs om till följande:

$$m_u v_{u1}^2 - m_u v_{u2}^2 > m_e v_{e2}^2 - m_e v_{e1}^2$$

$$\Rightarrow m_u(v_{u1}^2 - v_{u2}^2) > m_e(v_{e2}^2 - v_{e1}^2)$$

Eftersom att m_e och v_{e1} är kända samt att v_{e2} bestäms av divisionen mellan p_{e2} och m_e kan följande samband skrivas:

$$m_u(v_{u1}^2 - v_{u2}^2) > 4 \cdot 10^{10} \left(\left(\frac{2068847911}{4 \cdot 10^{10}} \right)^2 - 0^2 \right)$$

$$\Rightarrow m_u(v_{u1}^2 - v_{u2}^2) > 107003292$$

Nu finns två utarbetade ekvationer:

$$m_u(v_{u1} - v_{u2}) = 107003292$$

samt

$$m_u(v_{u1}^2 - v_{u2}^2) > 107003292$$

De två ekvationerna har totalt 3 obekanta: m_u , v_{u1} respektive v_{u2} . För att lösa ekvationssystemet måste ett värde tillsättas någon av de tre obekanta. Eftersom den största möjliga massan som man lyckats skicka upp i omloppsbana är den internationella rymdstationen väljs dess massa som massa för det uppskickade objektet. Därefter kan man diskutera metodens lämplighet baserat på den hastighet som det uppskickade objektet behöver ha före kollisionen. Den hastighet som det

uppskickade objektet får efter kollisionen är irrelevant i sammanhanget. Eftersom den internationella rymdstationen väger 419 725 kg⁵⁴ ges m_u detta värde:

$$m_u = 419\,725 \text{ kg}$$

För de båda utarbetade ekvationerna kan massan av det uppskickade objektet divideras i båda led vilket ger:

$$v_{u1} - v_{u2} = \frac{2068847911}{419725}$$

$$v_{u1} - v_{u2} \approx 4929$$

Respektive:

$$v_{u1}^2 - v_{u2}^2 > \frac{107003292}{419725}$$

$$v_{u1}^2 - v_{u2}^2 > 255$$

Det första sambandet kan skrivas om till följande:

$$v_{u2} \approx v_{u1} - 4929$$

Vid substitution av detta samband till det andra sambandet som utarbetades fås följande samband:

$$v_{u1}^2 - (v_{u1} - 4929)^2 >$$

Vilket omskrivs till följande:

$$v_{u1}^2 - v_{u1}^2 + 9858v_{u1} - 24295041 > 255$$

$$\Rightarrow 19536v_{u1} > 24295296$$

$$\Rightarrow v_{u1} > 1243 \text{ m/s}$$

Resultatet blir alltså att den hastighet som det uppskickade objektet behöver ha före kollisionen är ungefär 1243 m/s. Dock måste noteras att denna hastighet räcker om det vore ett objekt med lika stor massa som själva internationella rymdstationen som kolliderade med EO. Skulle det uppskickade objektet vara av mindre massa, skulle den nödvändiga hastigheten för det uppskickade objektet öka.

⁵⁴ "International Space Station Facts and Figures | NASA." 30 apr.. 2015, <https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>. Öppnades 8 mars. 2019.

I metoden gravitationsdragning kommer man kunna utnyttja hela tiden fram till kollision för att skapa accelerationen som är nödvändig. Detta leder till att gravitationsdragningen behöver utveckla en kraft på 6.56 N under hela tiden. Alltså kommer kraften mellan de båda kropparna vara 6.56 N, detta leder till följande formeln där radien erhålls:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{G m_1 m_2}{F}}$$

Där G är $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$, F är 6.56 N, m_1 är 419 725 kg och m_2 är $4 \cdot 10^{10} \text{ kg}$.

Detta leder till följande ekvation:

$$r = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \cdot 419725 \cdot 4 \cdot 10^{10}}{6.56}} \text{ m} = 423.287382283 \text{ m} \approx 423 \text{ m}$$

Alltså måste rymdfarkosten befinna sig på 132 meters avstånd från EO för att lyckas avvärja den. Detta är ett rimligt avstånd, då ISS är 73 meter lång.⁵² Dock måste rymdfarkosten utveckla en konstant kraft under denna tid, detta fungerar tyvärr inte sett till vetenskapen som detta projekt kunde erhålla (se nedan i diskussionen om motor). Därmed är inte gravitationsdragning positiv sett ur förutsättningen realism.

I metoden explosion används bomber och den är oberoende av förutsättningen realism. Därmed kan den ses som fullt realistisk oberoende om förenklad eller verklig version tillämpas.

Metoden motor behöver konstant utveckla en kraft på 6.56 N och detta är en större komplikation. Den största kraftutveckling som finns i experimentella sammanhang för jon-motorer är 5 N.⁵⁵ Detta är inte tillräckligt utan saknar 1.44 N, därmed går inte den att genomföra med hjälp av drivmedlet xenon, som dessa använder. Dock kan en elektromagnetisk motor i teorin utveckla en kraft på mellan 2.5-25 N⁵⁶. Denna kraftutveckling är tillräcklig och är, enligt källan, nära

⁵⁵ "NASA's New Ion Thruster Breaks Records, Could Take Humans to Mars." 13 okt.. 2017, <https://futurism.com/nasas-new-ion-thruster-breaks-records-could-take-humans-to-mars>. Öppnades 8 mars. 2019.

⁵⁶ "New Dawn for Electric Rockets." <https://alfven.princeton.edu/publications/choueiri-sciam-2009>. Öppnades 8 mars. 2019.

att utvecklas i praktiken. Dock är tiden till kollision för liten för att denna motor ska kunna utvecklas. Ett annat sätt skulle kunna vara att använda en klassisk kemisk motor för att utveckla kraften. Den raket som kan lyfta störst last till rymden är SpaceX:s Falcon Heavy som har en kraftutveckling på ca 15.2 MN under 154 sekunder vilket ger en total impuls på:

$$I = F \times t = 1520000 \times 154 \text{ kgm/s} = 234080000 \text{ kgm/s} \approx 2.34 \times 10^8 \text{ kgm/s}$$

Detta divideras med den totala impulsen som krävs:

$$\frac{234080000}{2068847911} = 0.1131451 \approx \frac{1}{9}$$

Alltså lyckas den kemiska raketen utveckla cirka en niondel av den totala impulsen, vilket inte är tillräckligt. Då både den kemiska motorn och jon-motorn ej utvecklar tillräckligt med kraft så är realismen inte en positiv förutsättning för motor.

Metoden laser är ännu inte utvecklad, men kommer i teorin kunna utveckla en kraft som är ekvivalent med den av "Space Shuttle Solid Rocket Booster" vilken är en kemisk raket som används av NASA. Dess utvecklade kraft ligger på 14 MN vilket är mer än tillräckligt för att påverka asteroiden under den tid som finns.⁵⁷ Dock är denna metod ej färdigutvecklad och därmed är realismen inte en positiv förutsättning för motor.

Överlag kan man säga att två metoder är positiva sett ur förutsättningen realism: kollision och explosion.

Sett ur förutsättningen säkerhet, är alla metoder förutom en helt säkra. Den metod som inte är helt säker är explosion, detta för att meteoritregnet som skapas av explosionen kan slå ner på jorden. Därmed är metoderna kollision, gravitationsdragning, motor och laser bäst sett ur förutsättningen säkerhet.

⁵⁷ "Directed Energy Planetary Defense."

<http://www.deepspace.ucsb.edu/wp-content/uploads/2013/09/Planteary-Defense-SPIE-Aug-2013-Lubin-8876-101-final.pdf>. Öppnades 8 mars. 2019.

99942 Apophis är en hållfast asteroid utan djupare analys av beståndsdelar och därmed är det svårt att dra en slutsats om vilken av metoderna är bäst sett ur förutsättningen komposition. Om den exempelvis istället skulle bestå av flera delar kan man säga att gravitationsdragning är bäst. Dock är 99942 Apophis som fastställts hållfast och därmed är alla metoder ekvivalenta sett ur förutsättningen komposition.

Sammantaget utifrån alla förutsättningar, kan man fastställa den bästa metoden för asteroiden 99942 Apophis. Baserat på förutsättningen tid var explosion bäst medan resterande metoder antogs vara likvärdiga. Baserat på förutsättningen realism så fungerade tre metoder bäst: kollision, gravitationsdragning och explosion. Baserat på förutsättningen säkerhet var metoderna kollision, gravitationsdragning, motor och laser bäst. Baserat på förutsättningen komposition var alla metoder ekvivalenta. För både motor och gravitationsdragning är frånvaron av en motor som konstant kan utveckla kraften 6.56 N den begränsande faktorn. Om en sådan motor skulle kunna utvecklas så kan man inte med säkerhet säga att metoderna på den mindre tiden efter utvecklingen kan avvärja asteroiden. Därmed utesluts metoderna motor och gravitationsdragning. Explosion har den stora risken att den har låg säkerhet, detta leder till att den utesluts. De två resterande metoderna som möjligen kan användas för att skydda jorden mot nedslag av EO är kollision och laser. Sett ur tid och komposition är de alltså likvärdiga. Baserat på förutsättningen säkerhet anses laser något bättre tack vare den potentiellt enorma kraft och därmed energimängd som den har möjlighet att påverka EO med. Av den anledning kan laser möjligtvis anses som den bäst lämpade metoden mot 99942 Apophis. Dock måste tilläggas att den inte är särskilt bra utifrån förutsättningen realism med hänsyn till att den inte är fullt utvecklad. Den har alltså inte utvecklats fullt ut än och kommer därmed inte fungera förrän en bit in i framtiden. Detta kommer påverka den tid som finns tillgänglig negativt vilket gör att den nödvändiga kraften i laser behöver

öka. I den aspekten ligger metoden kollision i framkant då den anses fullt utvecklad och i princip klar för användning. Dessutom analyserades inte denna metod i dess bästa möjliga alternativ då det antogs att det uppskickade objektet träffar EO från sidan. Skulle det uppskickade objektet därmed träffa EO med samma hastighetsvektor som EO har skulle de nödvändiga värdena minska. Sammanfattningsvis väljs ändå laser metoden tillsammans med explosion som reserv-metod för att säkerställa som den bäst lämpade metoden för 99942 Apophis då dess potential är tillräckligt stor.

Slutsats

Det går inte att entydigt bestämma vilken metod som är bäst lämpad för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt utan att veta förutsättningarna.

Anledningen till detta är metoderna gynnas av olika förutsättningar. Slutsatsen vi kan dra utifrån detta är att förutsättningarna måste vara kända för att den bäst lämpade metoden ska kunna väljas. Dock kan vi dra slutsatser utifrån särskilda majoritära förutsättningar, såsom tid och komposition. Utgår man enbart från att den givna tidsaspekten är förhållandevis liten följer att metoden explosion är den bäst lämpade metoden. Skulle asteroiden i fråga vara porös, vilken innefattas i förutsättningen komposition, följer att metoden gravitationsdragning är den klart bäst lämpade. Som framförts är dessa slutsatser baserade på generaliseringar då ytterligare data krävs för att utveckla analysen. För att presentera ett konkret resultat valde vi att välja den bäst lämpade metoden för asteroiden 99942 Apophis vilket är laser med en reserv-metod i explosion. Denna slutsats dras genom att förutsätta att utvecklingen av laser-metoden sker tillräckligt snabbt. Reserv-metoden valdes för att den nästan är helt oberoende av tid och man därmed kan använda den om den första metoden misslyckas.

Tillkännagivanden

Vi vill tacka vår handledare Lars Rådvall för all den rådgivning och hjälp vi fått under projektets gång. Vi vill även rikta ett stort tack till Markus Janson för att ha deltagit på en intervju bidragit med värdefull information till detta projekt.

Dessutom vill vi tacka astronomisk ungdom för det generösa bidraget som hjälpt oss att utforska ämnet på djupare nivå samt möjliggjort en spridning av vår kunskap via digitala medel.

Källförteckning

1. "99942 Apophis (2004 MN4)". *National Aeronautics and Space Administration*, NASA,
<https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=99942;cad=1>.
 - Källan användes i inledningen för att ta fram information kring asteroiden 99942 Apophis. Informationen som togs fram berörde asteroidens dimensioner, massa och hastighet.
2. Lagerkvist, Claes-Ingvar och Magnusson, Per. "asteroid".
Nationalencyklopedin, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/asteroid>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en asteroid.
3. "bolid". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bolid>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en bolid.
4. "excentricitet". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/excentricitet>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av begreppet excentricitet.
5. "extraterrestrial - svensk översättning". *bab.la engelskt-svenskt lexikon*,
<https://sv.bab.la/lexikon/engelsk-svensk/extraterrestrial>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på den svenska översättningen av det engelska ordet "extraterrestrial".

6. Janson, Markus. Privat intervju. 2018.12.04
 - Källan användes vid ett flertal tillfällen under rapporten för olika ändamål, bland annat under rubriken centrala begrepp i inledningen för att definiera begreppet hillsfären.
7. "object - svensk översättning". *bab.la engelskt-svenskt lexikon*,
<https://sv.bab.la/lexikon/engelsk-svensk/object>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på den svenska översättningen av det engelska ordet "object".
8. "interstellär materia". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/interstell%C3%A4r-materia>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av begreppet interstellär materia.
9. Lagerkvist, Claes-Ingvar och Magnusson, Per. "jordnära objekt".
Nationalencyklopedin, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/jordn%C3%A4ra-objekt>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av jordnära objekt.
10. "komet". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/komet>.
 - Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en komet.

11. "småplanet". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/sm%C3%A5planet>.
- Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en småplanet.
12. *Bra Böckers Lexikon*. Bokförlaget Bra Böcker AB, 1980.
- Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en trajektoria.
13. Fortescue, Peter. *Spacecraft System Engineering*. John Wiley and Sons Ltd, 1995.
- Källan användes under rubriken centrala begrepp i inledningen för att ta reda på definitionen av en trajektoria.
14. af Wåhlberg, Olof. "Nu är det fastslaget - Dinosaurierna utrotades av meteoritnedslag". *SVT*, 2010.03.05, SVT Nyheter,
<https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/nu-ar-det-fastslaget-dinosaurierna-utrotades-av-meteoritnedslag>.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta fram information om den kropp som sägs ha lett till utrotningen av dinosaurierna.
15. Lomax, Barry och Beerling David. "Rapid (10-yr) recovery of terrestrial productivity in a simulation study of the terminal Cretaceous impact event". *Science Direct*, 2001.10.15, Science Direct,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X01004472>.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta fram information om förödelserna från asteroidnedslaget som utrotade dinosaurierna.

16. Cole, Dandridge M. och Cox, Donald W. *Islands in Space*. Chilton Books, 1964.

- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta reda på den historiska katalogiseringen samt möjliga tekniker för att landa på, avleda och fånga in asteroider.

17. Portree, David S. F. "Earth-Approaching Asteroids as Targets for Exploration (1978). *Wired*, 2013.03.23, Wired, <https://www.wired.com/2013/03/earth-approaching-asteroids-as-targets-for-exploration-1978>.

- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att få fram information om det första astronomiska projekt, Paloma Planet-Crossing Asteroid Survey, dedikerat till att upptäcka och identifiera jordnära objekt.

18. Canavan, G. J., Solem, J. C. och Rather, John D. G. "Proceedings of the Near-Earth-Object Interception Workshop". *NASA*, 1993.02.01, NASA Technical Reports Server, <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930019383>.

- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att få fram information om programmet som inleddes i början av 1990-talet för att utvärdera de potentiella problemen som kan uppstå vid jordnära objekts eventuella nedslag på jorden.

19. Morrison, David. "The Spaceguard Survey - Report of the NASA International Near-Earth Object Detection Workshop". *NASA*, 1992.01.25, Internet Archive,
https://ia800304.us.archive.org/29/items/nasa_techdoc_19920025001/19920025001.pdf.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta reda på anledningen till valet av mått på de jordnära objekt som ska kartläggas och inte.
20. Soderman. "The Asteroid Impact Hazard: Historical Perspective". *NASA*, Solar System Exploration Research Virtual Institute,
<https://sservi.nasa.gov/articles/the-asteroid-impact-hazard-historical-perspective>.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att citera George E. Brown Jr som hävdar att en avledning av asteroid som hade en trajektor mot jordens ytan skulle vara en av de viktigaste prestationer någonsin.
21. Yeomans, Donald K. "Near-Earth Objects (NEOs) - Status of the Survey Program and Review of NASA's Report to Congress". *NASA*, 2007.11.08, Wayback Machine,
https://web.archive.org/web/20080131081137/http://democrats.science.house.gov/media/File/Commdocs/hearings/2007/space/08nov/Yeomans_testimony.pdf.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta fram information om den undersökningen som pågår för att identifiera och kartlägga samtliga jordnära objekt större än 140 meter i diameter.

22. "National Near-Earth Object Preparedness Strategy and Action Plan".
National Science and Technology Council, 2018.06, The White House,
<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/06/National-Near-Earth-Object-Preparedness-Strategy-and-Action-Plan-23-pages-1MB.pdf>.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta reda på information om NASA:s nuvarande projekt om att identifiera, kartlägga och kategorisera samtliga jordnära objekt större än 140 meter i diameter.
23. "Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects".
British National Space Centre, 2000.09, National Space Society,
<https://space.nss.org/media/2000-Report-Of-The-Task-Force-On-Potentially-Hazardous-Near-Earth-Objects-UK.pdf>.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att ta reda på information om interstellär materia och hur ett sådant nedslag anses vara farligare än ett nedslag av ett jordnära objekt.
24. Hall, Christopher. D. och Ross, I. Michael. *Dynamics and Control Problems in the Deflection of Near-Earth Objects*. 1997.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att beskriva gruppen avvärjande metoder.
25. Solem, J. C. *Deflection and disruption of asteroids on collision course with Earth*. 2000.
- Källan användes under rubriken bakgrund i inledningen för att beskriva gruppen oblitererande metoder.
26. Williams, David R. *Earth Fact Sheet*. NASA, 2004.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på jordens diameter.

27. "exosfären". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/exosf%C3%A4ren>.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på definitionen av exosfären.
28. "How big does a meteor have to be to make it to the ground?".
Howstuffworks, 2000.10.10, Howstuffworks,
<https://science.howstuffworks.com/question486.htm>.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på vilka faktorer som avgör EO:s möjligheter att nå jordytan.
29. "Automobile Dimensions". *automobiledimension.com*,
AutomobileDimensions, <https://www.automobiledimension.com>.
- Källan användes i diskussionen för att ta fram genomsnittliga dimensioner för en personbil.
30. Reilly, Kevin och Ludacer, Rob. "Here's how much damage an asteroid would cause if it hit earth". *Business Insider*, 2016.10.28, Business Insider,
<https://www.businessinsider.com/asteroid-damage-hit-land-earth-video-2016-10?r=US&IR=T&IR=T>.
- Källan användes i diskussionen för att ta fram information om hur stor ett EO behöver vara för att nå jordytan.
31. Eriksson, Ture. "dynamik". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dynamik>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen av Newtons tredje lag.

32. "Centralrörelse". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/centralr%C3%B6relse>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen av samt formeln för centralrörelse.
33. Eriksson, Ture, "Rörelsemängd". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/r%C3%B6relsem%C3%A4ngd>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen, enhet samt samband för storheten rörelsemängd.
34. "Impuls". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/impuls>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen och enhet för storheten impuls.
35. Alphonse, Rune, och Pilström, Helen. *Formler och tabeller*. Natur & Kultur, 2016.
- Källan användes för att ta reda på ett samband för storheten impuls.
36. "What is conservation of momentum?". *Khan Academy*, Khan Academy,
<https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-linear-momentum/conservation-of-momentum-and-elastic-collisions-ap/a/what-is-conservation-of-momentum>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att härleda beviset av rörelsemängdens bevarande i en kollision.

37. "Exempel på fullständigt oelastisk stöt". *Fysikguiden*, 2016.11.20, Fysikguiden, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-fullstandigt-oelastisk-stot>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen samt exempel på en fullständigt oelastisk kollision.
38. "Exempel på elastisk stöt". *Fysikguiden*, 2016.11.20, Fysikguiden, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-elastisk-stot>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen samt exempel på en elastisk kollision.
39. "What are elastic and inelastic collisions?". *Khan Academy*, Khan Academy, <https://www.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/elastic-and-inelastic-collisions/a/what-are-elastic-and-inelastic-collisions>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på varför den kinetiska energin inte bevaras vid fullständigt oelastiska och oelastiska kollisioner.
40. "Exempel på oelastisk stöt". *Fysikguiden*, 2016.11.20, Fysikguiden, <https://fysikguiden.se/exempel-pa-oelastisk-stot>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen samt exempel på en oelastisk kollision.
41. "CODATA Value: Newtonian constant of gravitation". *National Institute of Standards and Technology*. NIST, <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg>.
- Källan användes under rubriken teorier för att ta reda på Newtons gravitationskonstant

42. Brink, Lars. "gravitation". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/gravitation>.
- Källan användes i underrubriken teorier i inledningen för att förklara formeln för newtons gravitationslag
43. "motor". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/motor>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen av en motor.
44. Svanberg, Sune. "laser". *Nationalencyklopedin*, NE,
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/laser>.
- Källan användes under rubriken teorier i inledningen för att ta reda på definitionen av laser.
45. Yuhas, Alan. "Earth woefully unprepared for surprise comet or asteroid, Nasa scientist warns". *The Guardian*, 2016.12.13, The Guardian,
<https://www.theguardian.com/science/2016/dec/13/space-asteroid-comet-nasa-rocket>.
- Källan användes i bakgrunden för att ge en motivering på varför arbete av att utforska och utvärdera möjliga metoder för att skydda jorden mot nedslag av extraterrestriella objekt är nödvändigt.
46. Bombardelli, C. och Peláez, J. *Ion Beam Shepherd for Contactless Space Debris Removal*. 2011
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på definitionen av jonstrålning samt dess innebörd

47. Vasile, M. och Maddock C. *Design of a Formation of Solar Pumped Lasers for Asteroid Deflection, Advances in Space Research*. 2012
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på definitionen av fokuserad solenergi samt dess innebörd
48. O' Leary, Brian. *Science*. American Association for the Advancement of Science, 1977
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på definitionen av asteroidmining samt dess innebörd.
49. Cohen, David. "Earth's natural wealth: an audit". *NewScientist*, 2007.05.23, NewScientist,
<https://www.newscientist.com/article/mg19426051-200-earths-natural-wealth-an-audit/>
- Källan användes i diskussionen för att beskriva problematiken med att många av jordens naturresurser befaras ta slut inom de närmsta 50-60 åren.
50. Barrat, John. "Evidence of asteroid mining in our galaxy may lead to the discovery of extraterrestrial civilizations". *Smithsonian*, 2011.04.05, Smithsonian Insider,
<https://insider.si.edu/2011/04/evidence-of-asteroid-mining-in-our-galaxy-may-lead-to-the-discovery-of-extraterrestrial-civilizations>.
- Källan användes i diskussionen för att beskriva den astrobiologiska nyttan asteroidmining medför i form av mer information och ökad förståelse om liv i universum.
51. Gassend, Jean-Loup. *Conflict Archaeology*. 2014.
- Källan användes i diskussionen för att förklara att fragment i en explosion följer en chockvåg.

52. Lang, K. R. *Astrophysical Formulae*. Springer Verlag, 1980.
- Källan användes i diskussionen för att ta fram en formel för den energin som krävs för att oblitterera ett fullständigt objekt.
53. "Perimeter of an Ellipse". *Math is Fun*, Math is Fun Advanced, <https://www.mathsisfun.com/geometry/ellipse-perimeter.html>.
- Källan användes i diskussionen för att förklara hur en ellips omkrets kan bestämmas.
54. Garcia, Mark. "International Space Station Facts and Figures". *NASA*, 2019.03.21, NASA, <https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på den internationella rymdstationens massa.
55. Jones, Brad. "NASA's New Ion Thruster Breaks Records, Could Take Humans to Mars.". *Futurism*, 2017.10.13, Futurism, <https://futurism.com/nasas-new-ion-thruster-breaks-records-could-take-humans-to-mars>.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på hur mycket kraft en jon-motor kan utveckla
56. Choueiri, Edgar Y. "New Dawn for Electric Rockets". *Space Technology*, 2009.02, Electric Propulsion and Plasma Dynamics Laboratory, <https://alfven.princeton.edu/publications/choueiri-sciam-2009>.
- Källan användes i diskussionen för att ta reda på hur mycket kraft en elektromagnetisk motor kan utveckla.

57. Lubin Philip et la. "Directed Energy Planetary Defense." University of California, 2013.09,
<http://www.deepspace.ucsb.edu/wp-content/uploads/2013/09/Planteary-Defense-SPIE-Aug-2013-Lubin-8876-101-final.pdf>.

- Källan användes i diskussionen för att ta reda på hur mycket kraft en laser kan utveckla och dess förhållande till "Space Shuttle Solid Rocket Booster"

Bilagor

Bilaga 1 - Härledning av samband som presenteras på sida 56

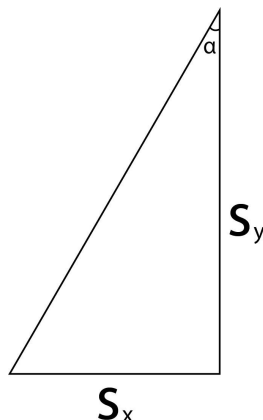
Givet var följande samband:

$$v_{e2x} = \frac{s_x}{v_{e2y}s_y}$$

vilket kan omskrivas till:

$$v_{e2x} = \frac{1}{v_{e2y}} \cdot \frac{s_x}{s_y}$$

s_x och s_y är två stycken sträckor som kan användas i trigonometriska samband. Förutsatt att X-led är den horisontella koordinataxeln och Y-led är den vertikala koordinataxeln kan sträckorna s_x och s_y illustreras i följande rätvinkliga triangel



Enligt trigonometriska samband gäller:

$$\tan(v) = \frac{\text{motstående katet}}{\text{närliggande katet}}$$

Eftersom vinkeln α ska utgå från är s_x motstående katet och s_y närliggande katet.

Detta medför att följande samband kan skrivas upp:

$$\tan(\alpha) = \frac{s_x}{s_y}$$

Detta samband kan substitueras in i sambandet:

$$v_{e2x} = \frac{1}{v_{e2y}} \cdot \frac{s_x}{s_y}$$

vilket slutligen ger sambandet:

$$v_{e2x} = \frac{1}{v_{e2y}} \cdot \tan(\alpha)$$

$$\Rightarrow v_{e2x} = \frac{\tan(\alpha)}{v_{e2y}}$$

Bilaga 2 - Transkribering av intervju med Marcus Janson

-Vårt syfte med gymnasiearbetet det är att ta fram metoder och utvärdera vilka metoder som finns för att motverka asteroidnedslag på jorden. Så då tänkte vi bara att vi presenterar lite av de metoderna som vi har tagit fram och sen så om du vill kanske analysera dem och om dit och så. Vi tänker först och främst kollision: Att man skickar upp liksom en raket av något slag som vi och får den ur bana och sen så möjligtvis om man liksom med hjälp av jordens gravitationsfält för att slunga ut den i rymden igen. Och sen gravitationsdragning: Den har vi sett ganska mycket om, jag vet inte med jag tror att det är den mest realistiska.

-Ja kanske, det tar ganska lång tid någonting tunn stor massa. Och sen explosion, det är väl sista som man kanske skulle göra, att spränga det är farligt. Sen en motor som man fäster på sidan av något slag men det måste då vara något drivmedel som vi kanske inte riktigt har uppfunnit än, jag vet inte. Och sen laser: Man skjuter någon laser som får asteroiden att dela på sig och skjuts iväg. Det är dem metoder som vi har tagit fram, nu ska vi utvärdera dem utifrån olika perspektiv.

-Först och främst undrar vi, finns det några andra kända metoder som går att använda? Som är någorlunda realistiska?

-Nja, det låter som att ni har fått med det mesta som jag har hört om iallafall, ja precis. Det är att antingen göra sönder den eller att på ett eller annat sätt få den att ändra bana på den så att säga. Det är de två alternativen man har och så finns det lite olika varianter då, men det verkar som om det som har diskuterats har ni fått med här tror jag.

-Då är nästa fråga, hur realistiska är då metoderna?

-Ja, det är väldigt svårt att uttala sig om och det beror naturligtvis lite på asteroidens egenskaper och så vidare, till exempel om man nu ska försöka förstöra asteroiden. Asteroiden kan bestå av allt möjligt så att säga. Om det är en komet som kommer till exempel då innehåller den mycket is så den är antagligen ganska porös, då är den kanske enklare att göra sönder. Är det en asteroid så kan den bestå av lite vad som helst. Den kan till och med, det finns rena järnasteroider mer eller mindre som antagligen är betydligt mindre porösa. I vilket fall så skulle jag nog säga att det som spontant låter mest, åtminstone om man upptäcker den tidigt, som spontant låter mest realistiskt är att man på ett eller annat sätt då jag letar efter det svenska ordet för "impose", att man på ett eller annat vis ändrar hastighetsvektorn så att säga så att asteroiden får en annan bana och därmed missar jorden.

-Och vi tänkte lite mer om vi går in på det här med kollision, alltså att man ändrar riktning, då har vi stött på tvåkropparsproblemet och vi har lite svårt att förstå det. Vi tänkte om du ville hjälpa oss att förstå det lite mer. För att, det är väldigt, vi tänker oss att om vi försöker få asteroiden runt jorden så vill vi att den ska åka som en parabel eller en hyperbel så att den inte kommer tillbaka igen. Och då undrar vi lite, hur fungerar det?

-Ja precis, yes, då kan man ju börja i lite olika ändar, det kanske är enklast om man ritar lite (**Se Bilaga 3**). Okej, ja precis, om vi tänker det generella tvåkropparsproblemet så finns det i princip tre stycken olika alternativ så att säga om vi då pratar om tvåkropparsproblemet. För att tala klarspråk, de kroppar vi då tänker på i det här fallet är jorden, jag betecknar den med J och asteroiden, A. Och då, bara som, innan vi kommer in på tvåkropparsproblemet, bara för att sätta det i en kontext, så är det aldrig i verkligheten så är inget problem ett sant tvåkropparsproblem för det finns massor av olika kroppar ute, det finns till

exempel solen som utgör en betydande dragningskraft. Men, de fall där man kan räkna det som ett tvåkropparsproblem med god approximation är om som i det här fallet då är det jorden som står för den största massan naturligtvis, om vi tänker på jorden kontra asteroiden, då kan man tänka det som ett tvåkropparsproblem så länge asteroiden befinner sig inom ett område från jorden som kallas för hillsfären. Det finns en hillsfär och den har en karaktäristisk hillradie. Så att om asteroiden är närmare jorden än hillradien då är det okej att tänka, se det som ett tvåkropparsproblem men om den är utanför så är det inte okej. Men okej, om vi då befinner oss inom det här området kan vi med hyfsad approximation säga att vi har ett tvåkropparsproblem. Då finns det i princip 3 stycken alternativ; man kan, du kan ha en hyperbolisk bana, en parabolisk bana eller en sluten bana, en elliptisk bana. Så att, det vanligaste sättet att särskilja dem är att prata om ett begrepp som kallas för excentricitet som brukar symboliserar med ett e . Om excentriciteten är mindre än 1 har man en sluten elliptisk bana, om till exempel excentriciteten är 0 har man en helt cirkulär bana, om excentriciteten är större då är den mer och mer elliptisk. Om excentriciteten är lika med 1 är den parabolisk och om den är större än 1 så är den hyperbolisk. Så att, ja, paraboliskt är ett fall, lite ett specialfall, det är mer praktiskt i den här meningen att tänka sig antingen eller hyperbolisk bana eller en elliptisk bana. Yes, så huruvida det egentligen i tvåkropparsproblemet, hur en kropp rör sig gentemot den andra kroppen beror helt kan man säga på vad den har för position i förhållande till den andra kroppen och vad den har för hastighet i förhållande till den andra kroppen. Så om, ja, den har en hastighet som är, det finns massor av olika alternativ. Det finns till exempel en hastighet som, om man styr den i den här positionen, så finns det en hastighet som den kan ha som kommer att föra den i en exakt cirkulär bana kring jorden. Då är det alltså en hastighet i fråga om både riktning och storlek på hastigheten. Om den hastighet, som om vi tänker oss bara hastigheten som är vinkelrät mot, ja nu blev den inte riktigt det som jag ritade men vi kan låtsas att den är vinkelrät och linjen här mellan asteroiden och jorden, om vi bara tänker på sådana fall bara för att göra det lite enkelt till att börja med, så har den en hastighet där den har en exakt i en

cirkulär bana. Har den en lägre hastighet än så men i samma riktning kommer den att befinna sig i en elliptisk bana där den kommer närmare jorden och sen går ut igen. Om den har en högre hastighet men fortfarande inte så hög att excentriciteten blir större än 1 kommer den att få en elliptisk bana där den går ut och så kommer in igen. Har den en tillräckligt hög hastighet så kommer excentriciteten att vara större än 1 och då kommer den att befinna sig på en så kallad hyperbolisk bana så att den kommer att lämna systemet. Ja, bara då för att knyta an lite till själva asteroid problemet då, för att det här var lite med generellt om vad den kan ha för banor, så i och med att, om man då har jorden och man har en asteroid som kommer in i riktning mer eller mindre mot jorden så kommer den från, i allmänhet då eftersom den inte var bunden med jorden, så kommer den in på en hyperbolisk bana, den kan inte komma in på en sluten bana för den var inte på en sluten bana. Utan den kommer in på en hyperbolisk bana så att den kommer att beskriva någon bana som har något minimiavstånd från jordens mittpunkt och om det avståndet är mindre än jordens radie då har man en stort problem, då blir det ju en kollision. Så att, ja, alltså vad det handlar om man då upptäcker den tidigt så att säga, när den har kommit innanför hillradien kanske men den har fortfarande långt kvar, då kanske det räcker att man bara ändrar hastigheten väldigt väldigt lite så får man ett större minimiavstånd och då har man inget problem längre för att då kommer den att passera på ett litet avstånd men det gör ingenting, utan den kommer bara att slungas iväg.

-Så om asteroiden, om det inte finns någon risk att asteroiden träffar jorden, då är det alltså säkert att den kommer slungas ut i rymden?

-Med ett tänkbart undantag, och det är om, för jorden omges inte av ett totalt vakuum utan den har en atmosfär och den atmosfären blir tunnare och tunnare men det tar ett tag innan den är praktiskt taget 0, asteroiden passerar så pass nära att den inte riktigt träffar jorden men den är ändå så pass nära att det finns tillräcklig atmosfär. Då kommer hastigheten att bromsas in så då får den en annan

hastighet än vad den hade haft i tvåkropparsproblemet och det innebär att den får en annan bana än vad den hade från början så att säga, så då kan excentriciteten bli mindre än 1 till exempel om den bromsas upp tillräckligt mycket så att den fastnar i en sluten bana sen när den kommer tillbaka igen då träffar den atmosfären igen så att den bromsas in ännu mer och får en ännu mindre bana och tillslut kommer den att krascha in i jorden på ett eller annat sätt.

-Vet man var det är säkert då att den

-Jag har inte räknat på det, det krävs egentligen en ganska liten hastighetsförändring för att få in den i en sluten bana men å andra sidan räcker det med att man inte kommer så långt ifrån för att den ska bli väldigt mycket tunnare. Rent matematiskt, atmosfärens tjocklek bestäms av en exponentiell funktion så den avtar exponentiellt med avståndet vilket innebär att varje skalthöjd som det kallas så blir den hälften så tunn, skalthöjden är ungefär 8 km av jordens atmosfär så ungefär samma höjd som Mount Everest, så att man är på toppen av Mount Everest så har man mer eller mindre exakt hälften så tunn luft som om man stod på ytan och sen varje 8:onde km så blir den hälften så tjock och då blir det extremt snabbt så att säga väldigt tunn atmosfär.

*-Vi läste om ett fall, det var en asteroid någonting med 9991 Apophis (**Rättelse 99942 Apophis**) eller något sånt och den skulle tydligen komma runt jorden typ år 2029 och sen skulle den komma tillbaka igen år 2036 och om man vet då att den kommer tillbaka betyder det att den har fastnat i den här banan?*

-Inte nödvändigtvis, för som sagt så som jag sa förut, det här tvåkropparsproblemet är en approximation så att säga, så om du har någonting sådant där vi pratar om, 2029 och 2036, 7 år ungefär, det innebär att banan så pass lång att den, i och med att den perioden, 7 år, är längre än till exempel Mars period kring solen och det innebär att den här asteroiden måste ha en "apogee",

det vill säga den punkten där asteroiden är på längst avstånd från jorden kommer att vara utanför Mars bana innan den kommer tillbaka, så det innebär att den kommer att påverkas av massor av andra tyngdkrafter under sin bana och det innebär att den kommer vara utanför hillsfären, det innebär att man inte riktigt kan prata om tvåkropparsproblemet exakt i det avseendet så att säga när den är utanför Hillsfären.

-Så hur, alltså vi har väldigt svårt att förstå matematiken bakom då tvåkropparsproblemet, alltså det är några andraderivator eller så, men vi försökte, vi har lite svårt. Kan du försöka?

Ja precis, alltså vad jag skulle koncentrera mig på så att säga skulle vara att, koncentrera mig på ett delproblem så att säga, det vill säga att helt enkelt tänka i termer av, okej vi struntar i atmosfären för den blir så pass mycket tunnare högre upp och så tänker vi oss det bara som ett tvåkropparsproblem och så tänker vi på hur hyperboliska banor helt enkelt. För då har man en ekvation som man kan hitta enkelt på Wikipedia om man vill så att säga eller i läroböcker eller sådär. För till exempel då, vad är avståndet som funktion av tid till exempel eller vad är för en viss hastighet när asteroiden kommer in, vad kommer då vara det minsta avståndet så att säga. För då kan man till exempel beräkna då om vi då ändrar den hastigheten lite granna, hur mycket ändras det här minimiavståndet då? Hur mycket skulle man behöva ändra hastigheten med för att få ett tillräckligt stort minimiavstånd här att asteroiden inte krockar med jorden. Det skulle vara ett lämpligt exempel skulle jag säga att koncentrera sig på så att säga. För det är, alla olika alternativ går inte att svara på inom ett gymnasiearbete så att säga, så är det nog smartare så att säga att fokusera på ett väldefinierat problem.

Ja, alltså nu tänker vi oss då det här jorden är då, alltså dess massa är väl så stor i jämförelse med asteroiden så att den inte, man kan säga att den inte påverkas?

Exakt

Alltså av asteroiden då?

Exakt, exakt.

Så finns det något lättare sätt, alltså det blir ju ett reducerat tvåkropparsproblem eller säger man så?

Ja precis, det kan man säga. Det är, precis. Alltså egentligen så, alltså man kan säga, om vi pratar trekropparsproblem till exempel så gör det en faslig skillnad om det är ett reducerat trekropparsproblem eller om det inte är ett reducerat trekropparsproblem. När det gäller tvåkropparsproblem så gör det inte så himla stor skillnad för det är ändå, man kan ändå, oavsett om det är ett enkropparsproblem eller tvåkropparsproblem så kan man se det som ett analytiskt problem som man kan lösa det analytiskt. Alltså egentligen, varje tvåkropparsproblem som man har till exempel om man har ett problem med en sluten bana, så om vi till exempel tar jorden kring solen så väger solen mycket mer än jorden så att man kan liksom se det som att det är mer eller mindre, det är inte den perfekta approximationen, mer eller mindre som att det är jorden som går kring solen. Om man hade, nu kommer det att bli svårt att rita, men om man hade två stycken stjärnor som hade samma massa så kommer det istället bli så att dem så att säga går runt. Alltså vad som alltid händer är att båda kropparna går runt masscentret så att om vi tar solen kontra jorden så är masscentret väldigt nära solen och det innebär att det är nästan solen som är den exakta mittpunkten men här blir, masscentrumet hamnar mellan stjärnorna så det gör att båda rör sig lika mycket så att säga men man kan alltid ändå fokusera sitt referenssystem på en av

stjärnorna och då blir det exakt samma sak som i det här fallet. Så man fokuserar, om vi säger att, okej vi fixerar vårt koordinatsystem vid den ena stjärnan då kommer den andra rörelse bete sig precis som om det vore jordens rörelse kring solen. Så att det är inte så viktigt i det här fallet att asteroiden är mindre massiv när man räknar på det så att säga så gör det ingen.

Och sen, alltså de problem vi stötte på med tvåkroppar då var det ofta så att det var, excentriciteten var mindre än 1, alltså att det var då att banor. Alltså hur, är det någon skillnad om det är en hyperbol, eller hyperbel.

Alltså, rörelseekvationen blir annorlunda så att säga, men man kan hitta den ekvationen väldigt enkelt då online så att säga. Jag är helt säker på att det måste finnas på Wikipedia till exempel bara för att ta ett exempel då och så kan man utgå från det och så kan man läsa vidare. Och då kan man se till exempel, här har vi en ekvation för vad som är avståndet vid den närmsta punkten och det är det ni kommer att vara intresserade av i det här fallet. Och hur det beror då av till exempel den hastigheten som asteroiden kommer in med så att säga och sen är det bara lite andra, ja precis, jag vet inte om det där är någonting men. Det kan, men det här är i princip massan för jorden fast multiplicerat med gravitationskonstanten. Så att egentligen så är det bara en, man kan experimentera med en parameter i den och därmed få.

Så alla de där värdena finns på nätet?

Ja precis, alltså det här är ju bara en, det här beror bara på jordens massa och gravitationskonstanten så att det finns ju, och det här, ja precis, det är väl inlagt parametrar, precis. Så att egentligen är det antagligen B som, eller ja, man kan fixera B och experimentera med lite olika hastigheter till exempel eller försöka med lite olika B och fixera olika hastigheter också, beroende på vad man vill göra. Men läser ni lite på det så skulle jag tro att det är förståeligt.

Vi har fått ganska mycket klarhet om excentriciteten.

Ja men jag vill bara, vi kanske ska ta den här ändå. Alltså hur vet man vad excentriciteten är? Alltså är det beroende av numeriska metoder där man ser den här banan eller?

Njae alltså det är, man kan säga att har du en viss hastighet given så att säga vid en viss position då ger det en viss excentricitet och det kan man räkna ut, det tror jag inte att ni kommer att behöva göra. Men, det är, det finns ett till ett samband så att säga. Finns den vid en viss position och har en viss positionsvektor då medför det att den är på en bana som har en viss excentricitet.

Så när asteroider kommer, om de kommer för nära jorden då och påverkas av jordens atmosfär då förändras excentriciteten?

Då kan excentriciteten förändras, precis. Om man har två kroppar i ett vakuum så har de alltid en viss excentricitet som aldrig ändras om du bara har två kroppar i hela universum så att säga, och det är vakuum, då är det Newtons lagar som styr och då har den, om den har en viss hastighet och en viss position gentemot jorden så har den en viss excentricitet helt enkelt så att säga. Medan om den då påverkas av någonting annat, en annan kropp eller jordens atmosfär eller sådär, då kan excentriciteten ändras.

Yes, vi tänkte lite på det här med datainsamling också. Hur fungerar det när man samlar in data för att bestämma till exempel hastighet, massa, diameter och sådant för asteroider?

Ja alltså, man kan använda lite olika metoder. Vad man gör i allmänhet är att man har något slags teleskop, det kan vara optiska teleskop, det kan vara radioteleskop. Och så tittar man på stjärnhimlen och så tittar man på saker som ändrar sig, ändrar

sin position ganska snabbt då på stjärnhimlen. Då kan det, har man väl upptäckt, det upptäcker man ju hela tiden så att säga olika asteroider, det finns ju hur många asteroider som helst i solsystemet med de flesta är inte i någon kollisionsbana med jorden så att säga. Har man väl upptäckt den kan man titta oftare på den punkten och se hur den rör sig och då kan det räcka med att man har, bara några stycken så att säga, observationspunkter för att kunna räkna ut, vad har den för faktisk hastighet och vad har den för faktisk position i förhållande till jorden, och har man de två faktumen så att säga då, som sagt, vet man exakt vad banan är.

Men då är frågan densitet och massa för de ändrar ju hur farlig den är om den slår ner. Hur kan man räkna ut det?

Ja, alltså där får man väl kanske läsa upp lite om olika asteroider som kan finnas och se vad de kan bestå av och därifrån kan man räkna ut en, ja man kan hitta föräldrar så att säga om det skulle vara en ren järnasteroid, då kan man titta på vad är densiteten för järn, precis lite sådär, ja.

Yes, och sen den här, för den här asteroiden som jag nämnde tidigare, den här som skulle träffa jorden 2029, då stod det någonting på att det var typ 0,004% chans att den skulle träffa jorden. Hur vet man sannolikheten för att de träffar?

Ja precis. Alltså i princip så, det bygger på, om vi då tar det här fallet igen med en asteroid och så har vi jorden och asteroiden kommer med en viss hastighet och den kanske, ja, som innebär att den träffar jorden eller inte beroende på den här hastigheten. Men den hastigheten, som alla andra storheter man mäter, kommer ha en viss felmarginal då, så att det innebär att i princip så kommer det att bli, utifrån den information man har så kan man räkna ut något område så att säga inom extremerna så att säga för de felmarginalerna där asteroiden kan komma. Alltså i princip vad man i själva verket gör är att man utifrån de olika hastigheterna tänkbara hastigheter som det skulle kunna vara räknar ut en bana och så får man

en stor familj av banor. Säg att man simulerar en miljon tänkbara banor och så märker man att, ja, 4000 av dem 1 miljon banorna hamnar på en sådan bana att de träffar jorden. Då har man 4000 genom 1 miljon, det vill säga 0,4% chans.

Yes, och sen slutligen tänkte vi bara, de här metoderna som vi tog upp i början, om du vill rangordna dem, tro vilken som är bäst.

Ja precis. Alltså det är ju inte mitt expertområde så att säga, det är ju ingenjörer som tänker på sådana där grejer. Men som sagt om man ordnar de i grupper så att säga skulle, oberoende av hur man gör det, så skulle jag säga att de bästa är om man kan tidigt ändra banan, för då räcker det, ju tidigare man ändrar banan desto mindre hastighetsskillnad behöver man, återigen "impose", hittar inte det svenska ordet, men desto mindre hastighetsinverkan behöver, ja, man ha på asteroiden för att den kanske då helt ska missa jorden. Medan att förstöra asteroiden, och så vidare, det låter svårt helt enkelt, då dem skulle jag ranka lägre i jämförelse.

Ja, hade du någonting mer?

Nej jag tror att det är bra så, stort tack.

Bilaga 3 - Anteckningar gjorda av Markus Janson under intervjun

