

# Projektbeskrivelse til Unge Forskere Senior

## \*Navn og titel

Navn: *Rasmus Vesterager Gothelf*

Projektets titel: *"Parallele 3d 'braner' som model for mørkt stof halos"*

## \*Kategori (sæt ét kryds):

Life Science \_\_\_\_\_

Physical Science

Technology \_\_\_\_\_

## \*Vigtig baggrundsviden

Dette afsnit skal indeholde svar på:

- 1) Hvordan blev du opmærksom på det problem du vil undersøge/har undersøgt? (kort)
  - *Jeg deltog sidste år i projekt Forskerspire. Hertil havde jeg som udgangspunkt blot lyst til at undersøge, hvorvidt der kunne eksistere flere rumlige dimensioner i vores univers. Derfor begyndte jeg at undersøge eksisterende teorier, der omhandler eksistensen af ekstra rumlige dimensioner. Dette drejer sig hovedsageligt om Kaluza-Klein modellen og Randall-Sundrum modellen. Det viste sig så, at for at kunne arbejde med disse modeller, er det nødvendigt, at man har færdighederne til at arbejde med tensor calculus, da begge teorier tager udgangspunkt i Einsteins feltligninger, der ligger til grund for den generelle relativitetsteori. Da jeg ikke har læst fysik eller matematik på universitetet i de fire år, der næsten er nødvendige for at udvikle sådanne færdigheder, måtte jeg finde en ny indgangsvinkel. Jeg prøvede derfor blot teoretisk at indføre en fjerde rumlig dimension i vores univers, for at se hvad der ville komme herudaf. For at denne tilføjelse ikke umiddelbart skulle gå imod vores nuværende model for universet, lavede jeg nogle restriktioner på baggrund af termodynamikkens 1. Lov. Hertil kunne jeg benytte konceptet om "brane-worlds" fra RS-modellen, som er tredimensionelle rum, der er adskilt af en længde i den fjerde dimension, som tyngdekraften også virker på tværs af. Herfra kunne jeg ikke se nogle umiddelbare brud på eksisterende accepterede fysiske love, og på samme tid opstod helt naturligt også en kandidat for mørkt stof. Nemlig stof i andre parallelle bran-verdener. Det viser sig også at den observerede struktur, som mørkt stof samler sig i, nemlig de såkaldte "halos", opstår fra denne model. Derfor synes jeg at det er en meget spændende ny indgang til problemet om mørkt stofs natur, som er værd at kigge nærmere på.*
- 2) Hvorfor synes du, det er fedt at undersøge lige netop dette problem? (kort)
  - *Som beskrevet ovenover, så synes jeg at modellen giver en relativt elegant løsning på problemet om mørkt stof, som jeg ikke har set før. Det virker for mig også især spændende, da fænomenet, mørkt stof, opstod i modellen af sig selv, så at sige. Jeg sad blot og tænkte modellen igennem, og så snublede jeg over, at der så burde være en masse, som vi kun kan observere gennem dets tyngdepåvirkning. Altså synes jeg at modellen giver et spændende nyt bud på, hvad mørkt stof er, som jeg godt kunne tænke mig at fremvise.*
- 3) Hvilken baggrundsviden har du inden for emnet? Beskriv centrale teorier og generel viden, som dit projekt bygger på. (VIGTIGT: angiv kilder, hvor det er relevant)
  - *Baggrunden for projektet er jo blot spørgsmålet: "Hvad nu hvis vi tilføjede en ekstra dimension til universet". Heraf udviklede jeg modellen ved løbende at sammenligne den med andre teorier indenfor fysikken. Den første sammenligning er til termodynamikkens 1. Lov [1], der omhandler energibevarelse. Kort fortalt siger den, at den totale mængde af energi i universet er konstant. Da  $E = mc^2$ , må dette også gælde for masse. Uden de senere tilføjede restriktioner brød modellen denne lov, og heraf opstod restriktionerne, at alle legemer ikke kan bevæge sig ad den fjerde rumlige akse, og at de ikke har nogen udstrækning i den fjerde dimension. Altså er alle legemer normal 3d-masse, og de er låst til ét koordinat på den fjerde akse. Dette lød i høj grad som ideen om "branes", som er en stor del af Randall-Sundrum modellen [2,3,4]. Denne model siger kort fortalt, at tre af de fire fundamentale kræfter, altså den elektromagnetiske kraft, den svage og den stærke kernekraft, er bundet til en tredimensionel verden kaldet en "brane" (kort for membrane), i et højere dimensionelt rum. Dette er det 3d-rum som vi befinder os i. Tyngdekraften kommer dog fra en parallel bran (altså oversat fra*

brane), hvor dets effekt føles på tværs af det højere dimensionelle rum, der adskiller disse to braner. Heraf fremkommer også tyngdekraften relativt svage styrke, samt en begrundelse for besværet i at forene den med de andre tre fundamentalkræfter. Jeg har så altså ladet mig inspirere af ideerne i RS-modellen til bygningen af min egen model. I min model er der dog mange parallelle braner, i stedet for blot to, hvor de andre 3 fundamentalkræfter indbyrdes virker i hver bran, men ikke på tværs af braner. Tyngdekraften virker dog på tværs af branerne som i RS-modellen, men da den ikke kan påvirke legemer, således at de får en acceleration i retningen af den 4. Akse per de tidligere restriktioner, bliver tyngdekraften altså en projektiv kraft. Ved dette opstår et fænomen, som ligner mørkt stof [5]. Mørkt stof, er usynligt stof, som vi kun har kunnet se effekten af. Denne effekt består i dets tyngdepåvirkning i galakser. Hvis man kigger på hastighederne i rotationskurverne af legemer i galakser, ser man, at hastighederne er meget højere end estimeret ud fra massen af det synlige stof [6]. Altså må der være et eller andet ikke-observerbart stof, som har en tyngdemæssig effekt. I min model opstår der et fænomen, hvor stof fra andre braner påvirker stof i vores bran via tyngdekraften. Dette stof kan dog ikke interagere med stof fra vores bran på andre måder. Altså må det være en kandidat for mørkt stof. Herefter tog jeg udgangspunkt i Keplers 1. Lov [7], der siger at legemer i rummet bevæger sig i ellipsebaner, til at undersøge strukturerne som dette mørke stof danner. Heraf opdagede jeg, at min model fremsatte, at mørkt stof ikke kan danne ellipsebaner om lyst stof, hvis afstanden (set fra vores 3d perspektiv) ikke er tilstrækkeligt stor. Altså må mørkt stof samle sig i ringe yderligt i vores synlige galakser, hvilket faktisk er et observeret faktum [8,9,10], som danner basis for meget af den forskning, som der bliver gjort i mørkt stof i dag.

Kilder:

1. Young, Hugh D., "Chapter 7: Conservation of Energy" og "Chapter 17: First Law of Thermodynamics", *University Physics: Eighth Edition*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York (1992)
2. Randall, Lisa og Sundrum, Raman, "A Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension", *Phys. Rev. Lett.* 83, 3370-3373 (1999)
3. Randall, Lisa, "[Lisa Randall - Extra Dimensional Particle Resonances at the LHC \(1/3\)](#)", *Youtube*, (2012)
4. Garriga, Jaume og Tanaka, Takahiro, "Gravity in the Randall-Sundrum Brane World.", *Phys. Rev. Lett.* 84, 2778-2781 (2000)
5. "[Dark Energy, Dark Matter](#)", *NASA Science: Astrophysics*, (2015)
6. Rubin, Vera C., "Dark Matter in Spiral Galaxies", *Sci. Am.* 248, 96-109 (1983)
7. Saeta, Peter, HMC Mooc, "[Lecture 15.6 - Deriving Kepler's 1st Law, Pt. 1](#)" og "[Lecture 15.7 - Deriving Kepler's 1st Law, Pt. 2](#)", *Youtube*, (2013)
8. Wechsler, Risa H. og Tinker, Jeremy L., "The Connection between Galaxies and their Dark Matter Halos", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 56, 435-487 (2018)
9. Corbelli, Edvige og Salucci, Paolo, "The Extended Rotation Curve and the Dark Matter Halo of M33", *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 311, 441-447 (1999)

### Vejledende kommentarer

Dette afsnit leder frem til det næste afsnit "Projektets centrale spørgsmål".

Under pkt. 1) og 2) ser juryen på, hvilken motivation og nysgerrighed du er drevet af.

Under pkt. 3) har du mulighed for at fremhæve de centrale teorier og den generelle viden, som undersøgelsen bygger på. Spar ikke på detaljerne!

Det er vigtigt for juryen at kende baggrunden for projektet for bedre at kunne forstå projektet. Betragt dette som opvarmningen. Jo bedre du har sat juryen ind i baggrunden, jo lettere har de ved at sætte sig ind i dine/jeres tanker med projektet og jo større er sandsynligheden for at du går videre til semifinalerne.

### \*Projektets centrale spørgsmål

Dette afsnit skal indeholde

#### 1) Hovedspørgsmål

Hvilket hovedspørgsmål undersøger du i projektet? (formuleret så præcist som muligt).

- Først og fremmest arbejdede jeg ud fra hovedspørgsmålet: "Kan introduktionen af en fjerde rumlig dimension danne grundlag for løsninger af nutidige problemstillinger indenfor fysikkens verden?"
- Idet jeg udledte min model, blev dette spørgsmål dog specificeret til at være mere lignende: "Hvilke forudsigelser for mørkt stofs egenskaber og opførsel kan drages ud fra den opstillede model, og i hvilken grad stemmer dette overens med data fra observationer af galakser?"

#### 2) Underspørgsmål

Angiv hvilke 3-5 underspørgsmål du vil undersøge for at finde svar på dit hovedspørgsmål.

- Hvordan kan en fjerde rumlig dimension indføres i vores nuværende model af universet, uden at stride mod basale fysiske love?

- Hvordan opfører tyngdekraften sig i denne model?
- Hvilke forudsigelser kan vi på baggrund af tyngdekraftens opførsel lave om mørkt stof?
- Hvorvidt stemmer disse forudsigelser overens med virkeligt data?

**Vejledende kommentarer**

Afsnittet her skal betragtes som en afgrænsning af projektet. Det vil sige, det er her, du viser, hvor fokus for undersøgelsen ligger. Hvis der skal mere end fem problemstillinger til for at besvare dit hovedspørgsmål, er det tegn på, at problemformuleringen er for bred.

Juryen vil være opmærksom på, om undersøgelsen hænger sammen, fx ved at se på om undersøgelsesmålene kan give svar på hovedspørgsmålet. Det er vigtigt, at projektet er skarpt fokuseret, så du ikke kommer til at love at undersøge alt for meget på en gang.

**\*Ekspert**

Dette afsnit skal indeholde svar på:

- 1) Hvilke eksperter kunne du tænke dig at tale med? Begrund dit valg.
  - Til at undersøge dette projekts validitet, er der selvfølgelig på den teoretiske front brug for en teoretisk fysiker, der vil kunne gennemgå modellen ud fra Einsteins feltligninger, hvilket jeg ikke i øjeblikket har færdighederne til. Jeg har derfor været blevet nødt til at arbejde under den antagelse, at rummet tilnærmelsesvist er euklidisk i min udledning af tyngdekraftens opførsel på tværs af braner. For at styrke modellens validitet, såvel som at se, hvilke forudsigelser den vil komme med, i mere ekstreme tilfælde som sorte huller, er der altså brug for en teoretisk fysiker
  - Yderligere kunne det selvfølgelig også være gavnligt, at få kontakt til en astrofysiker, der forsker i mørkt stof, som således vil kunne hjælpe med at sammenligne min models forudsigelser med observeret data. Jeg har heller ikke en stor adgang til relevant data. I hvert fald ved jeg ikke hvor jeg skulle finde det, og jeg vil sandsynligvis også have brug for hjælp til at tolke noget af dette data, hvis det er i nogenlunde rå tilstand.
- 2) Hvem har du allerede talt med (hvis du har talt med nogen)?
  - Som del af mit forskerspirer forløb skulle jeg have en forsker kontakt. Hertil fik jeg kontakt til Nikolaj Zinner fra Aarhus Universitet. Jeg bad ham om hjælp, efter at jeg fik ham anbefalet til mit projekt, der på det tidspunkt blot omhandlede udforskningen af ideen om en ekstra rumlig dimension. Jeg har dog ikke snakket med Nikolaj siden projekt Forskerspirers afslutning, og det er først derefter, at jeg har udledt udtrykket for tyngdekraften på tværs af braner, og heraf også udledt, at mørkt stof må samle sig i ringe yderligt i galakser. Denne sidste udledning var faktisk også en problemstilling, som Nikolaj stillede for mig under Forskerspirer forløbet. Altså har jeg ikke fået feedback på mine mest betydningsfulde udledelse af modellen, så derfor kunne det være gavnligt igen at kontakte en eller flere forskere. Måske det kunne gavne sig at kontakte forskere, der er lidt mere specialiserede i dette felt, da jeg nu har en mere konkret formulering af projektet.
- 3) Hvilke spørgsmål har du eventuelt allerede bedt om hjælp til (fra eksperterne)? Og hvilke spørgsmål overvejer du eventuelt at spørge om hjælp til?
  - Dette har jeg allerede til dels gennemgået i tidligere spørgsmål. Jeg spurgte Nikolaj til råds om, hvor det ville være gavnligt for mig at starte med at læse på emnet. Her foreslog han Kaluza-Klein teorien. Det var også senere ham, der mente, at hvad jeg havde udviklet af min model på det tidspunkt, mindede om Randall-Sundrum modellen.
  - Nu ville jeg nok spørge om hjælp hos folk med flere færdigheder end mig selv, i området som min model omhandler, hvorvidt de bedømmer min model er valid. Både i betragtning af feltligningerne og observationer af mørkt stof. Som ovenfor nævnt, vil jeg også spørge, om jeg kan få fat i mere data omhandlende mørkt stof halos, og om jeg hertil vil kunne få hjælp til fortolkning.

**Vejledende kommentarer**

Vi forventer, at du i en eller anden grad får hjælp fra din lærer. Det juryen har brug for at vide her er at høre, hvem udenfor din skole du har inddraget eller godt kunne tænke dig at inddrage i projektet.

Juryen vil se det som en væsentlig styrke af dit projekt, hvis du har undersøgt, hvem der har ekspertviden indenfor dit område, og at du overvejer, om det giver mening at inddrage dem i dit projekt. Det er ikke sikkert, at det lykkes dig at finde samarbejdspartnere, men det er vigtigt, at du overvejer det/forsøger.

**\*Selve undersøgelsen**

Dette afsnit skal indeholde svar på:

- 1) Hvilke eksperimenter/undersøgelser har du gennemført? Eller hvilke planlægger du at gennemføre?
  - Som det fremgår af projektets centrale spørgsmål, så er projektet meget grundet i den teoretiske verden. Det er altså også i høj grad grundforskning. Således består min empiri hovedsageligt af andre teoretiske modeller og grundlæggende love indenfor fysikken. Det data jeg har fundet, som jeg har med i min projektrapport, har været fra andre kilder, da jeg ikke selv har mulighed for at opsamle den nødvendige data. Dette vil kræve tid med et rigtig godt teleskop, hvilket jeg ikke har adgang til. Selv hvis jeg havde, ville processen i at analysere dataene ikke være specielt let for mig, da astronomisk data ikke er noget man rigtig stifter bekendtskab med i gymnasiet i et tilstrækkeligt omfang ift. dette projekt. Således vil jeg også have brug for hjælpen fra en astrofysiker, til at analysere den fundne data. Altså har jeg indtil videre måtte nøjes med at finde data fra andre kilde i form af grafer, som altså allerede er blevet analyseret.
- 2) Hvis der indgår eksperimenter i projektet, så skriv hvordan de er udført/skal udføres.
  - Der er ikke et eksperiment. Dog kunne det i fremtiden være gavnligt, hvis jeg kunne få adgang til rå data eller et teleskop, således at jeg vil have data. Hertil vil det selvfølgelig også være gavnligt at have færdighederne til at analysere denne data. Dette kunne enten være mig selv, der med tiden udvikle disse færdigheder, eller hjælp fra en astrofysiker. Således vil vi kunne analysere den observerede opførsel af mørkt stof og dets strukturdannelse, og herudfra vil der kunne drages konklusioner om, hvorvidt modellen holder.

**Vejledende kommentarer**

Dette afsnit skal give juryen viden om, hvordan du har undersøgt underspørgsmålene, eller hvordan du har tænkt dig at gøre det. Skriv så detaljeret som muligt!

Under pkt 1) notér hvilket underspørgsmål det enkelte eksperiment/undersøgelse giver svar på. Vær så specifik som muligt. Hvis du har gennemført en titrering, så skal du skrive det osv.

Under pkt. 2) må du meget gerne bruge illustrationer og figurer. Dette punkt svarer til fremgangsmåden og forsøgsopstillingen i en rapport.

**Centrale resultater**

Dette afsnit skal give svar på:

- 1) Hvilke resultater har du opnået indtil videre?
  - Jeg har noget frem til, at man kan indføre en fjerde rumlig dimension til vores univers, uden at man umiddelbart bryder nogen etablerede love indenfor fysikken. Dette medfølger at alle legemer er fastlåst i såkaldte "braner", som er 3d-planer i et 4d-rum. Tyngdekraften er den eneste kraft der virker på tværs heraf, og for at tyngdekraften fra masse i parallelle braner ikke bliver uendeligt stor, hvilket ville medføre, at universet kolliderer, må branerne ligesom i RS-modellen være adskilt med en længde  $l$ , som tyngdekraften svækkes igennem.
  - Det modificerede udtryk for Newtons tyngdelov som en projektiv kraft på tværs af braner med en afstand  $l$  bliver således:

$$F = G \cdot M \cdot m \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- Det kan også ses, at hvis  $l = 0$ , hvilket betyder at legemerne er på samme bran, så må dette udtryk blive det normale udtryk for Newtons tyngdelov.

$$F = G \cdot M \cdot m \cdot \frac{r}{(r^2 + 0^2)^{\frac{3}{2}}} = G \cdot M \cdot m \cdot \frac{1}{r^2}$$

- Ved at gennemføre beviset for Keplers 1. Lov med dette modificerede udtryk fås:

$$L = G \cdot M \cdot m^2 \cdot a(1 - \epsilon^2) \cdot \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Her har man gjort antagelsen, at legemet med massen  $m$  bevæger sig i en ellipsebane, hvilket er sandt hvis og kun hvis, at impulsmomentet  $L$  er konstant. Altså er spørgsmålstegnet sat over lighedstegnet, da lighedstegnet kun gælder hvis antagelsen er sand. Altså skal:

$$\frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cong 1$$

for at lighedstegnet gælder, og loven er bevist. Dette opnås ved enten at sætte  $l = 0$  eller  $r \gg l$ , hvilket betyder, at mørkt stof kun kan danne ellipsebener om lyst stof og omvendt, hvis den tredimensionelle afstand mellem dem er tilstrækkelig stor. Altså opstår mørkt stof halos af denne model, hvilket stemmer overens med observationer af mørkt stofs strukturdannelse.

Dette kan ses i bilagene under. Længere nede i bilagene ses også en graf, hvor tyngdekraften med  $l = 0$  og tyngdekraften med  $l > 0$  er plottet mod hinanden som funktion af  $r$ . Her ses også at kræfterne bliver mere og mere lig, desto større  $r$  bliver. Ligeledes ses også at de to tyngdekræfter bliver mere og mere ulig, desto mindre  $r$  bliver

#### Vejledende kommentarer

Indsæt gerne tabeller, figurer eller anden afbildning af resultaterne. Hvis du ikke allerede har haft muligheden for at genere resultater fra undersøgelsen, er det også helt fint. Du kan evt. skitsere, hvilke resultater du regner med at opnå. Du behøver ikke at skrive noget i dette felt.

#### Hovedkonklusion og videre arbejde

Dette afsnit skal give svar på:

- 1) Hvad kan du konkludere ud fra de foreløbige resultater?
  - Man kan konkludere, at jeg modellen, som jeg har fremsat, giver en ny og interessant indgangsvinkel til at betragte fænomenet mørkt stof og dets strukturdannelse. Ifølge modellen har vi nu en ny måde at se tyngdekraften på, som en projektiv kraft på tværs af branverden, hvorfra mørkt stof og dets opførsel fremkommer naturligt og elegant. Dette er selvfølgelig kun ifølge modellen, som ikke endnu er tilstrækkeligt eftervist, til at man generelt kan acceptere den.
- 2) Hvilke nye spørgsmål rejser projektet, og er der nogle af dine undersøgsmål, som du ikke har kunnet få svar på?
  - Det spørgsmål, som jeg ikke har kunne besvare, er selvfølgelig, hvorvidt modellen holder. Den er overhovedet ikke eftervist i den grad, at den generelt kan accepteres. Spørgsmålet er så, om modellen stadig vil holde, idet man går mere grundigt til værks i at sammenligne den med observeret data. Gyldighed er således det største og vigtigste ubesvarede spørgsmål.
  - Derudover er det også interessant at spørge om, hvor meget mere modellen vil kunne forudsige. Jeg har jo ikke kunnet sige noget om mere ekstreme tilfælde såsom sorte huller ud fra modellen, da jeg ikke har kunnet arbejde med feltligningerne. Det kunne dog være interessant at se, hvilke fænomener og forudsigelser der vil komme ud af, at betragte mere ekstreme tilfælde ift. Modellen.
  - Et andet fænomen, som også kunne være interessant at undersøge, om modellen har et svar på, er universets accelererende udvidelse. Hvis universet udvider sig i den 4. Dimension, hvori branerne er adskilte, ligesom det gør i de andre tre dimensioner, vil afstanden mellem hver bran også over tid blive mindre. Dette vil medføre at tyngdekraften mellem braner også bliver svagere med tiden. Da den samlede tyngdepåvirkning i vores bran over tiden blive mindre, ville der også være mindre der holder universet sammen. Dermed må universets udvidelse accelerere, da der er mindre og mindre der strider imod denne udvidelse. Dette er en interessant tanke, men det er dog ikke mere end blot end tanke på dette tidspunkt. Det er derfor et interessant spørgsmål om denne ide faktisk kunne udfoldes mere omhyggeligt og teoretisk end blot et tankeeksperiment.

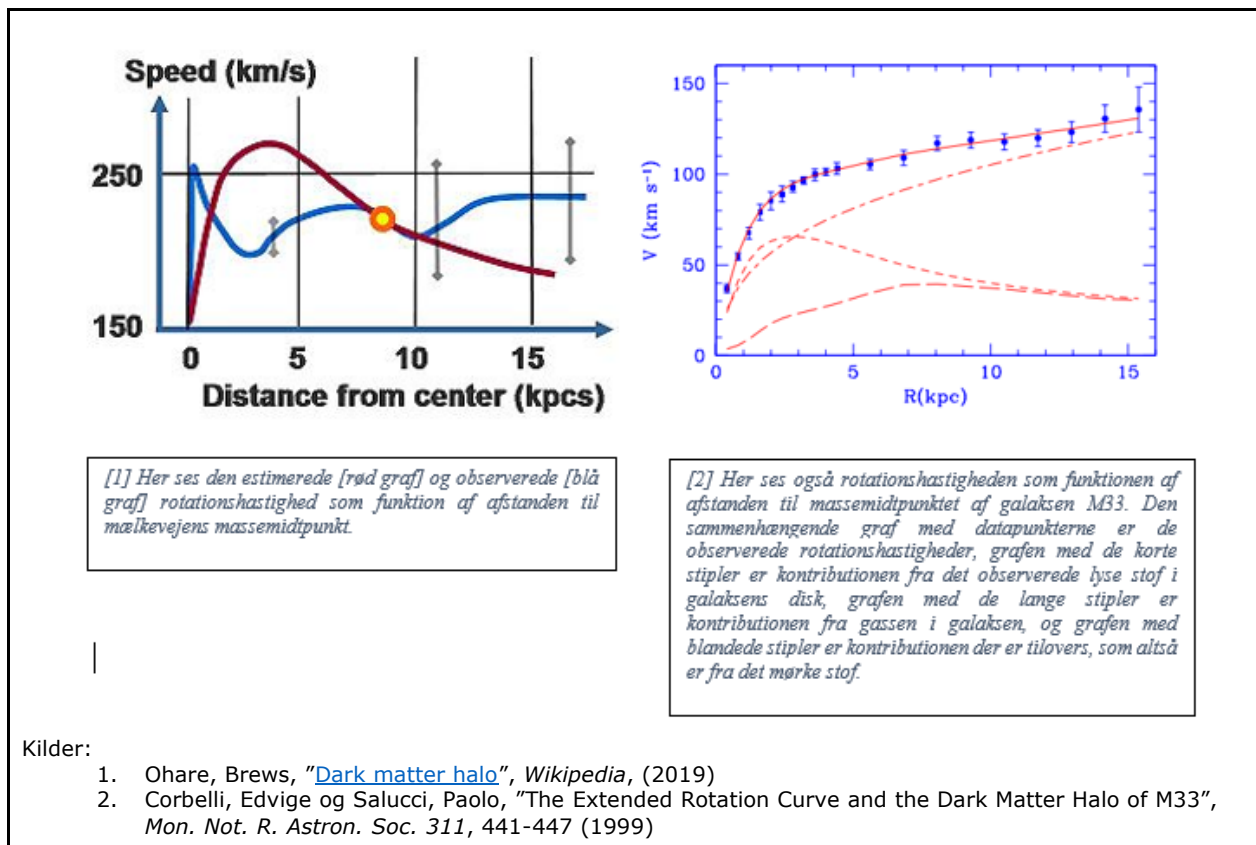
#### Vejledende kommentarer

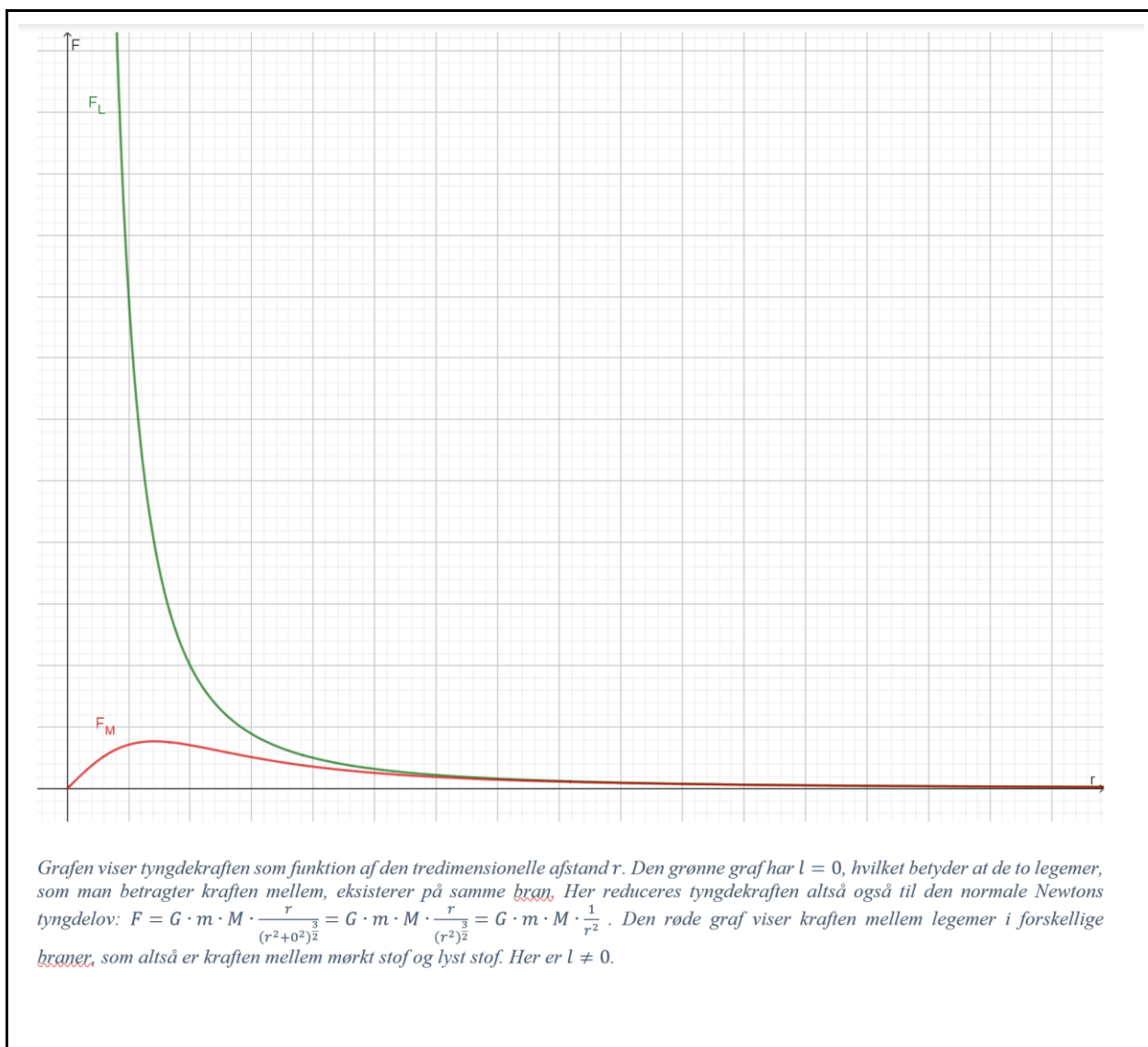
Under pkt 1) skal du være meget præcis. Juryen vil se på, om du kan skelne mellem, hvad du *kan* sige, og hvad du *ikke* kan sige på baggrund af resultaterne. Det er altså vigtigt, at du kun konkluderer noget, som du har belæg for.

Under pkt 2) har du mulighed for at vise juryen den indsigt, du har i projektet, og på hvilken måde du er blevet klogere igennem projektet.

#### Bilag

Her *kan* du indsætte eventuelle bilag. Det kan være modeller, data eller figurer fra tidligere rapporter, du selv har udført, som er centrale for projektet.





# \*unge forskere

Parallele 3d ”braner” som model for  
mørkt stof halos

Rasmus V. Gothelf – Risskov Gymnasium  
Unge Forskere – Physical Science – 2019



## Indhold

0: Tak .....	10
1: Indledning.....	10
2: Metode og afgrænsning.....	10
3: Modellering .....	11
3.1: Opstilling af model.....	11
3.2: Tyngdekraft på tværs af braner .....	13
4: Videreudvikling af modellen.....	19
5: Litteraturliste.....	20
6: Bilag .....	21

## 0: Tak

Jeg vil starte med at takke min kontaktperson Nikolaj T. Zinner, for hjælpen med at afgrænse det faglige omfang af projektet, så at det blev rimeligt at udføre, og for hjælpen med litteratursøgning. Jeg vil også gerne takke mine talentkoordinatorer Benjamin Kristensen og Astrid F. Staantum, for hjælp med alle de praktiske detaljer, hjælp til korrekturlæsning, og for at motivere mig til at deltage i projektet.

## 1: Indledning

Fysikkens verden er fyldt med mysterier. Hver gang vi gør nye opdagelser, virker der til at opstå endnu flere mysterier, og vores forståelse af universets facon er på denne måde flere gange blevet rystet. Dette kan få én til at tænke: Hvilke aspekter kunne der være i universet, som vi endnu ikke er bevidst om? Én af disse ideer, der altid har fascineret mig i høj grad, er ideen om, at der eksisterer flere rumlige dimensioner end de tre, som vi kender. Denne undren om ekstra dimensioner, kan også ses i bøger som "Flatland" [1], der er rimelig kendt på trods af sit abstrakte indhold. Derfor forekommer emnet mig relevant, idet der blot er en undrende interesse i emnet hos mange folk. Vigtigere er dog emnets relevans for fysikkens verden. Løsningen af ét mysterium, kan mange gange hjælpe med at løse andre mysterier. Derfor mener jeg, at det kunne være relevant at analysere om introduktionen af ekstra rumlige dimensioner til vores nuværende accepterede model for universet kan løse mysterier såsom mørkt stof og mørk energi. Jeg vil altså undersøge problemformuleringen:

*Kan introduktionen af en fjerde rumlig dimension danne grundlag for løsninger af nutidige problemstillinger indenfor fysikkens verden?*

## 2: Metode og afgrænsning

Målet med dette projekt er at opstille en model for et univers med en ekstra rumlig dimension, der fungerer i sammenhæng med de accepterede teorier og modeller indenfor fysikken. Jeg vil altså opstille en matematisk model ud fra den fysik, som jeg kender fra gymnasiet samt en noget supplerende materiale, der går ud over normalt gymnasiepensum. Altså består min empiri, hvorpå jeg bygger min model, af accepterede fysiske love, eksisterende teorier/modeller og data, der altså kommer fra lærebøger og videnskabelige artikler. Således fremgår det, at projektet i høj grad kan anses som grundforskning. Jeg prøver altså at opstille en ny indgang til at betragte og eventuelt løse en eksisterende problemstilling ved at starte fra en ny idé. Undervejs i rapporten vil jeg altså

sammenholde den midlertidige model med relevant empiri, for at jeg kan indføre restriktioner på modellen samt at udlede konklusioner om eksisterende problemstillinger på basis af modellen. Heraf fremgår det, at jeg tager en meget teoretisk indgang til projektet. Dog vil jeg holde modellen op mod data, som andre har indsamlet, idet jeg har opstillet modellen og lavet konklusioner, for således at se om disse konklusioner holder. Dette er dog et aspekt der i fremtiden vil kunne uddybes i større grad. Altså benytter jeg mig af den hypotetisk deduktive metode med en teoretisk vinkel, hvor jeg udvikler en model, som jeg i flere omgange sammenligner med forskellig empiri.

## 3: Modellering

### 3.1: Opstilling af model

Det er først og fremmest vigtigt at påpege, at når jeg igennem opgaven nævner ordet dimension, referer jeg specifikt til en rumlig dimension ligesom de 3 vi kender. Hvis vi kalder vores tre kendte dimensioner for  $x_1$ ,  $x_2$  og  $x_3$ , kan vi kalde vores nye fjerde dimension for  $x_4$ . Antagelse om eksistensen af en fjerde rumlig dimension vil for os umiddelbart betyde, at vi lever i et 3d tværsnit af et 4d rum, hvori der eksisterer legemer med tilsvarende 4d masse. Dette bringer dog nogle problemer:

Denne model fremsætter eksistensen af 4d masse. Vores 3d masse må altså være den 4d masse som vores tværsnit går gennem. Hvis vi heraf forestiller os et objekt, der ikke har en uendelig længde i  $x_4$  retningen, som har en hastighedsvektor med en komponent  $v_4 \neq 0$ , og som passerer gennem vores tværsnit, vil vi observere et 3d objekt, der ser ud til at blive større og mindre før det forsvinder helt. Hvis vi heraf antager at objektets massefylde er uniform gennem hele objektet, må vi altså opleve en masse der spontant bliver til, vokser sig større, vokser sig mindre igen, og som til sidst helt forsvinder. Dette burde vi kunne se på alle størrelsesskalaer ifølge modellen, hvilket betyder at modellen strider imod sætningen om bevarelse af energi og dermed termodynamikkens 1. lov [2], da  $E = mc^2$  [3], og da vi ved må gælde for vores 3d rum, idet den er opstillet hertil.

På grund af disse problemer må jeg tilføje nogle restriktioner på modellen, der skal medføre, at problemerne løses:

1. Alle partikler og dermed alt stof er bundet til at have  $v_4 = 0$ , hvilket i andre ord betyder at alle partikler er bundet til et  $x_4$ -koordinat. Dermed er problemet med spontant opstående og forsvindende masse løst.

2. Alle partikler og dermed alt stof har ingen udstrækning i den fjerde dimension. Denne restriktion følger den tidligere, da vi stadig vil kunne bryde termodynamikkens første lov i vores 3d tværsnit. Dette kan ses ved eksemplet af et elastisk stød mellem to 4d-objekter. For et fuldstændigt elastisk stød gælder der bevarelse af bevægelsesmængde og kinetisk energi [4]. Disse to sætninger kan ikke altid begge tilfredsstilles fra vores 3d synspunkt. Se bilaget for begrundelse. Vi vil altså kunne se et uforklarligt tab af energi, og dermed er restriktionen nødvendig. Pga. denne restriktion får vi også afskaffet konceptet om 4d masse.

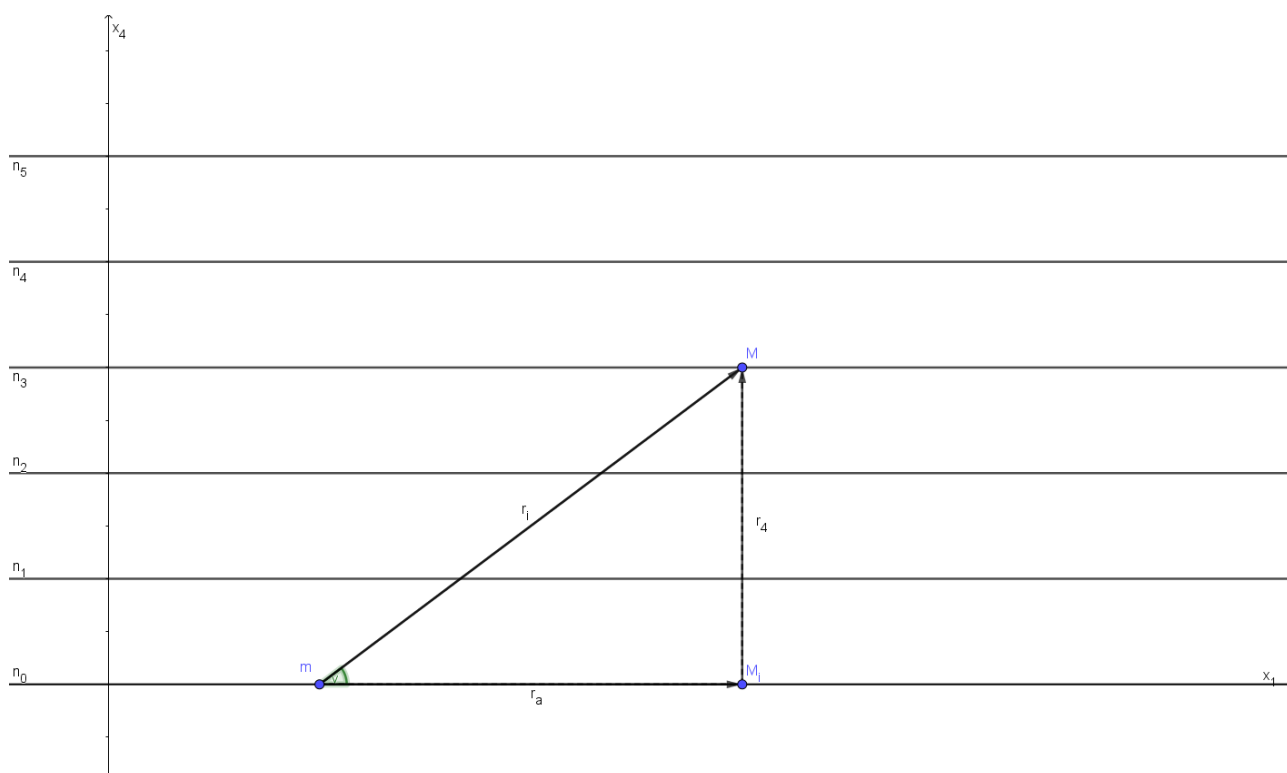
Vi har nu en model for universet, hvor vi har 3d stof, der kan eksistere i adskilte 3d rum, som ligger i et 4d rum. Disse 3d rum minder om de 3d rum, der optræder i Randall-Sundrum modellen [5,6,7], og som omtales som "branes", der oversat til dansk hedder braner. Dog foreslår jeg i modsætningen til RS-modellen, at der findes mange braner, der også alle er ens i deres indhold. Jeg fremsætter altså at der findes et ukendt antal parallelle braner, der i høj grad ligner den, som vi befinder os i. Ifølge standardmodellen udveksles de fundamentale kræfter af bosoner, som jo er punktpartikler. De vil derfor også være fastlåst til deres bran, og altså kan der ikke ske nogen interaktion mellem braner. Hvad er pointen så med deres eksistens? Ifølge Albert Einsteins generelle relativitetsteori [8,9,10] er tyngdekraften et følge af, at tidsrummet krummer ved eksistensen af energi beskrevet ved energi-momentum tensoren  $T_{\mu\nu}$ . Måden, hvorpå den generelle relativitetsteori er udtrykt, som altså er Einsteins feltligninger, der er givet ved tensorer af 2. rang, giver anledning til, at teorien uden store problemer kan udvides til yderligere dimensioner. Derfor kunne det tænkes, at masse/energi i én bran i min model kan medføre en krumning i det 4d rum. Dermed er tyngdekraften den eneste af de fundamentale kræfter, som kan interagere på tværs af braner. Den samme ide ses også RS-modellen, hvor gravitonen, er den eneste partikel der kan bevæge sig mellem braner i det der kaldes "the bulk", som altså blot er 4d-rummet mellem braner. Ergo er det ikke absurd at gøre sig denne antagelse.

Herfra gør jeg for simplicitets skyld en antagelse om uniformitet mellem braner, i den forstand at der eksisterer lige meget stof i hver bran. Der opstår altså et fænomen, hvor stof fra andre braner kan påvirke vores bran via tyngdekraft, men vi kan hverken se eller røre dette stof. Dette minder i høj grad om fænomenet, som vi kan observere i rummet, der kaldes mørkt stof [11]. Altså giver modellen et bud på mørkt stofs natur.

### 3.2: Tyngdekraft på tværs af braner

Jeg mangler dog stadig at gøre rede for nogle elementer af modellen. Først og fremmest er at bestemme, hvor meget branerne påvirker hinanden via tyngdekraften. Det er klart, at hvis vi introducerer en stor mængde ekstra masse og energi til vores model af universet, skal vi passe på, at det ikke medfører et postulat om, at universet burde være kollapsed pga. den store mængde tyngdekraft. Her antager jeg at der, ligesom i RS-modellen, eksistere et såkaldt "bulk" mellem braner, som tyngdekraften altså må fungere gennem. Branerne ligger derfor ikke uendeligt tæt, og tyngdekraften taber således styrke mellem branerne. Der bør altså være en længde mellem braner ( $l$ ), så den sammenlagte tyngdekraftspåvirkning fra de andre bulks svarer til den anskuede tyngdekraft fra det mørke stof i vores bran.

Lad os nu betragte hvordan tyngdekraften opfører sig på tværs af denne bulk. Vi tager udgang i to legemer med masserne  $m$  og  $M$ , der eksisterer i to forskellige braner med afstanden  $n \cdot l$  fra hinanden, hvor  $n$  er en indeks:  $n \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$ . Derudover kan vi forståelsens skyld sige, at  $m$  befinder sig i vores bran. For at følgende udledelser kan foretages, uden at jeg skal til at benytte Einsteins feltligninger, hvilket jeg ikke har færdighederne til at gøre, antager vi at tyngdefelterne omkring legemerne ikke er for ekstreme. Altså antager vi at masserne ikke er for store og at legemerne ikke roterer for meget, så rummet omkring dem tilnærmelsesvist kan ses som værende euklidisk. Denne antagelse vil være tilstrækkelig til at danne et billede at det mørke stofs opførsel. Vil man gå endnu mere grundigt til værk og dykke helt ned i modellen, eller hvis man vil kigge på mere ekstreme tilfælde såsom sorte huller, vil det selvfølgelig være nødvendigt at tage feltligningerne i brug. Idet vi har antaget et tilnærmelsesvist euklidisk rum, kan vi også benytte Newtons tyngdelov [8,12] som en approksimeret form af Einsteins feltligninger. For at visualisere denne udregning benytter jeg figuren herunder.



Her ses et udsnit med 6 braner, som er repræsenteret ved de vandrette linjer. Der ses også tre forskellige stedvektorer  $\vec{r}_i$ ,  $\vec{r}_a$  og  $\vec{r}_4$ . En anden notits er, at jeg nu indfører indekserne:  $a = \{1,2,3\}$  og  $i = \{1,2,3,4\}$ , der betegner dimensionerne.  $\vec{r}_i$  er derfor 4d stedvektoren mellem de to masser,  $\vec{r}_a$  er en 3d projektion af  $\vec{r}_i$  ned i vores bran, og  $\vec{r}_4$  er komponenten af  $\vec{r}_i$  i retning af  $x_4$ . For simplicitets skyld laver jeg også nogle forsimplinger i notationen. Jeg kalder blot  $\vec{r}_4 = \vec{l}$ , så det understreges at længden mellem de to legemer langs  $x_4$  er konstant, og jeg siger også  $\vec{r}_a = \vec{r}$  for simplicitets skyld. Derudover dropper jeg også blot pilene over vektorerne for at indikere størrelserne af dem ( $|\vec{r}| = r$ ), og jeg benytter ofte til at notere enhedsvektorer ( $\frac{\vec{r}}{r} = \hat{r}$ ). Med dette kan vi opskrive hvad vi nu ved om disse vektorer. Da rummet er euklidisk, må der gælde:  $\vec{r}_i = \vec{r} + \vec{l}$ ,  $r_i = \sqrt{r^2 + l^2}$  og  $\cos(\nu) = \frac{r}{r_i}$ . Vi ved også at Newtons tyngdelov siger:  $\vec{F} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} \cdot \hat{r}$ . I vores tilfælde er distancen mellem dem jo  $r_i$ , hvilket giver:

$$\vec{F}_i = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_i^2} \cdot \hat{r}_i$$

Denne vektor er dog firdimensionel, hvilket strider mod restriktion 1, som vi tidligere opstillede, da vi vil have en acceleration i retning af  $x_4$ . Derfor må den reelle kraft, som bliver udøvet på  $m$  være

denne firdimensionelle kraftvektor projiceret ned i den tredimensionelle bran. Dette kan jo så gøres ved at projicere den ned på den tredimensionelle stedvektor. Vektorprojektion i euklidisk rum er givet ved:

$$\vec{b}_a = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{a^2} \cdot \vec{a}$$

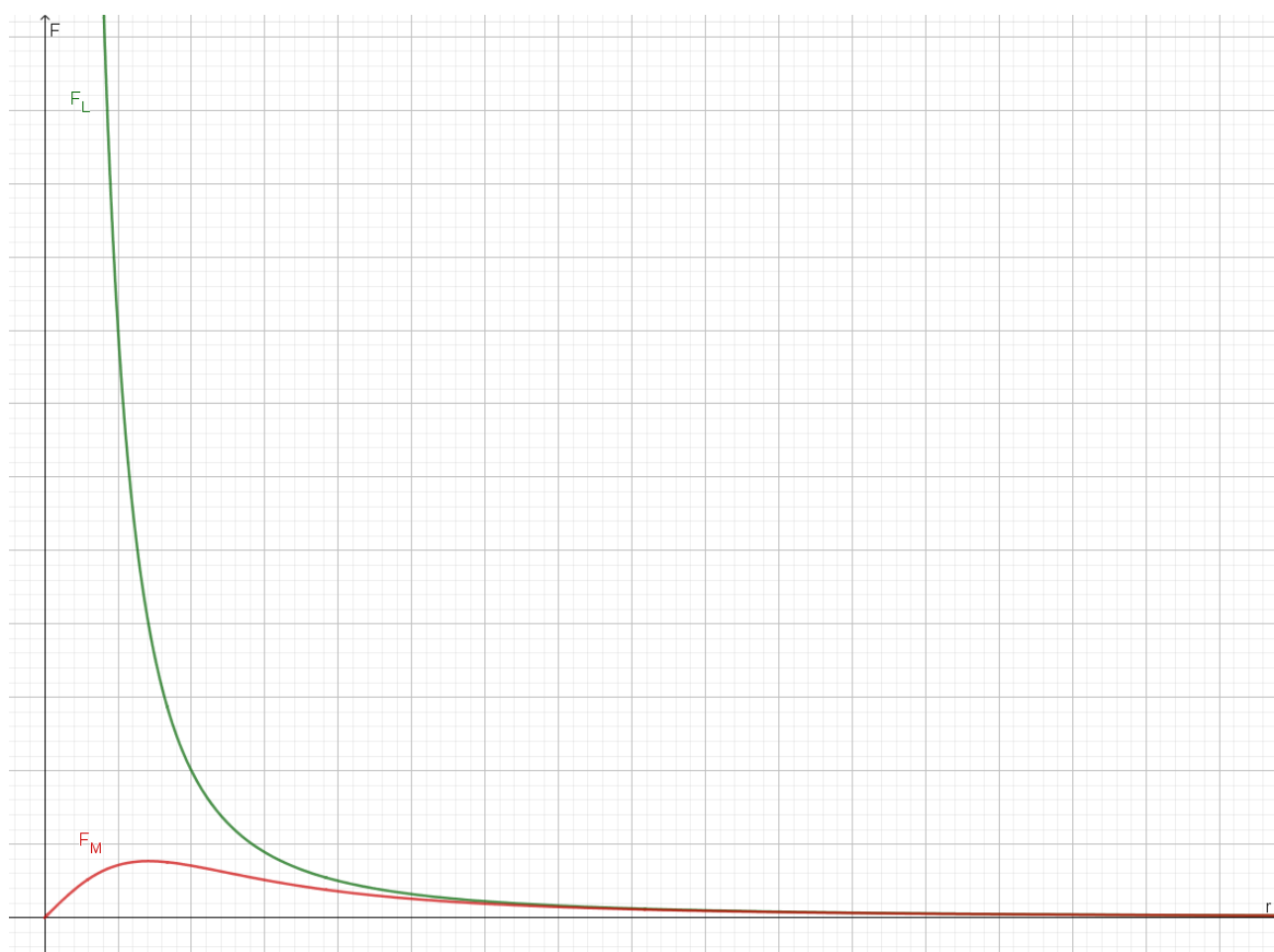
Hvilket i dette tilfælde bliver:

$$\begin{aligned} \vec{F} = \vec{F}_{l,r} &= \frac{\vec{F}_i \cdot \vec{r}}{r^2} \cdot \vec{r} = \frac{-G \cdot \frac{m \cdot M}{r_i^2} \cdot r \cdot \cos(\nu)}{r} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_i^2} \cdot \cos(\nu) \cdot \hat{r} \\ &= -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_i^2} \cdot \frac{r}{r_i} \cdot \hat{r} = -G \cdot m \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \hat{r} \end{aligned}$$

Hvilket betyder:

$$F = G \cdot m \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Dette er altså udtrykket for tyngdekraften, som mørkt stof i en bran med længde  $l$  fra vores bran udøver på stof i vores bran. Det kan også ses at hvis  $l = 0$  bliver  $\frac{r}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{r}{(r^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{r^2}$ , hvilket altså er vores normale udtryk for newtons tyngdelov i 3d. Hvad gør dette  $l$ -led så for tyngdepåvirkningen? For den normale tyngdelov gælder der:  $\lim_{r \rightarrow 0} F = \infty$ , da  $\lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{r^2} = \infty$ . Med dette  $l$ -led gør det sig dog ikke gældende, men i stedet vil der gælde:  $\lim_{r \rightarrow 0} \frac{r}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}} = 0$ , hvilket betyder:  $\lim_{r \rightarrow 0} F = 0$ . Men for begge må der gælde  $\lim_{r \rightarrow \infty} F = 0$ , da nævneren i begge tilfælde bliver forholdsmæssigt større og større end tælleren, når  $r$  bliver større. Altså må tyngdekraftpåvirkningen fra mørkt stof ligne tyngdekraftpåvirkningen fra normalt stof, jo længere væk stoffet kommer fra hinanden målt i 3 dimensioner.



Grafen viser tyngdekraften som funktion af den tredimensionelle afstand  $r$ . Den grønne graf har  $l = 0$ , hvilket betyder at de to legemer, som man betragter kraften mellem, eksisterer på samme plan. Her reduceres tyngdekraften altså også til den normale Newtons tyngdelov:  $F = G \cdot m \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + 0^2)^{\frac{3}{2}}} = G \cdot m \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2)^{\frac{3}{2}}} = G \cdot m \cdot M \cdot \frac{1}{r^2}$ . Den røde graf viser kraften mellem legemer i forskellige planer, som altså er kraften mellem mørkt stof og lyst stof. Her er  $l \neq 0$ .

På billedet herover ses hvordan graferne  $F_L$  (lyst stof) og  $F_M$  (mørkt stof), der er funktioner af  $r$ . Her ses opførslerne af tyngdekraften fra hhv. lyst stof og mørkt stof, der tidligere blev udledt. Det er altså

også tydeligt at der må gælde:  $\lim_{r \rightarrow \infty} F_{\text{mørkt stof}} = F_{\text{lyst stof}}$ , hvilket også betyder:  $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{F_{\text{lyst stof}}}{F_{\text{mørkt stof}}} = 1$ .

Dette ses også ud fra udtrykket for tyngdekraften på tværs af planerne, som vi udledte tidligere, da  $l$  vil blive mindre og mindre betydningsfuld ift.  $r$ , desto større  $r$  bliver, når man kigger på betydningsfulde

cifre. Altså vil  $r^2 + l^2 \approx r^2$  for  $r \gg l$ , og derved vil  $\frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \approx \frac{1}{r^2}$ .

Hvad betyder dette så for strukturen af mørkt stof? Til at finde ud af dette, vil jeg nu se hvorvidt Keplers 1. lov, der siger, at planeter bevæger sig i ellipsebaner, gælder. Vi betragter igen legemerne med masserne  $m$  og  $M$ . Her kan vi nu følge samme metode til at bevise Keplers 1. lov, som kan ses i



[13,14]. Beviset går basalt set ud på, at man vil vise, at impulsmomentet for legemet med massen  $m$  er konstant, idet man indfører formlen for en ellipse i polære koordinater ( $r = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{1+\varepsilon \cdot \cos(\theta)}$ , hvor  $a$  er den lille halvakse og  $\varepsilon$  er excentriciteten). Første del af beviset går ud på at udtrykket accelerationsvektoren for et vilkårligt legeme i polære koordinater. Denne udledning må være den samme for os, da bevægelse stadig er bundet til 3 dimensioner, og da acceleration i sig selv ikke er afhængig af tyngdekraft. Altså må:

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta}$$

Her er prikkerne over variablene brugt som notation for, at de er differentieret mht. tiden. 2 prikker betyder således at variabelen er differentieret mht. tiden to gange. Herefter ved vi at  $F = m \cdot a$ , og dermed må der gælde:

$$-G \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \hat{r} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta}$$

Da tyngdekraften er den resulterende kraft på legemet med massen  $m$ . Da venstre side ikke har noget  $\hat{\theta}$  term, må  $\hat{\theta}$ -ledet på højre side være ligegyldigt, og det fjernes således bare. Dette kan gøres, idet  $\hat{r}$  og  $\hat{\theta}$  er basisvektorer i polær koordinater. På venstre side af lighedstegnet er  $\hat{\theta}$ -komponenten 0. Ergo må  $\hat{\theta}$ -komponenten på højre side også være 0. Vi har altså:

$$-G \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \hat{r} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r}$$

↓

$$-G \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$$

Fra den tidligere nævnte kilde ved vi også, at impulsmomentet er givet ved:  $L = m \cdot r^2 \cdot \dot{\theta} \Leftrightarrow \dot{\theta} = \frac{L}{m \cdot r^2}$ . Fra beviset af sætningen, som jeg før henviste til, udledes der også at:

$$\ddot{r} = \frac{d^2}{dt^2} \left( \frac{a(1-\varepsilon^2)}{1+\varepsilon \cdot \cos(\theta)} \right) = \frac{L^2 \varepsilon \cos(\theta)}{m^2 r^2 a(1-\varepsilon^2)}$$

Hermed har vi altså:

$$-G \cdot M \cdot \frac{r}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \stackrel{?}{=} \frac{L^2 \varepsilon \cos(\theta)}{m^2 r^2 a(1 - \varepsilon^2)} - \frac{L^2}{m^2 \cdot r^3}$$

Denne lighed gælder altså under antagelsen at  $m$  bevæger sig i en ellipsebane, og heraf kommer notationen med spørgsmålstegnet over lighedstegnet. Ligheden gælder altså hvis og kun hvis, at legemet bevæger sig i en ellipsebane. Det gør det, hvis  $L$  er konstant, og således vil vi isolere  $L$ . I denne isolering udnytter vi også, at vi allerede har antaget at legemet bevæger sig i en ellipsebane, så vi kan substituere  $r$  for  $\frac{a(1-\varepsilon^2)}{1+\varepsilon \cdot \cos(\theta)}$ .

$$\begin{aligned} -G \cdot M \cdot m^2 \cdot \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \stackrel{?}{=} \frac{L^2 \varepsilon \cos(\theta)}{a(1 - \varepsilon^2)} - \frac{L^2}{r} &= \frac{L^2 \varepsilon \cos(\theta)}{a(1 - \varepsilon^2)} - \frac{L^2}{\frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \cdot \cos(\theta)}} \\ &= \frac{L^2 \varepsilon \cos(\theta)}{a(1 - \varepsilon^2)} - \frac{L^2(1 + \varepsilon \cdot \cos(\theta))}{a(1 - \varepsilon^2)} = -\frac{L^2}{a(1 - \varepsilon^2)} \end{aligned}$$

$\Updownarrow$

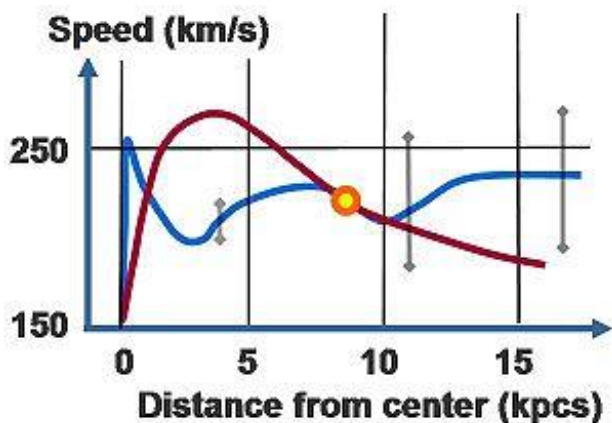
$$L^2 \stackrel{?}{=} G \cdot M \cdot m^2 \cdot a(1 - \varepsilon^2) \cdot \frac{r^3}{(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$G, M, m, a$  og  $\varepsilon$  er alle konstanter.  $r$  er dog en variabel og giver derfor et problem. Det kan ses at hvis  $l = 0$  så er  $\frac{r^3}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}} = 1$ , og dermed må Keplers 1. lov gælde mellem lyst stof, som forventet. Via

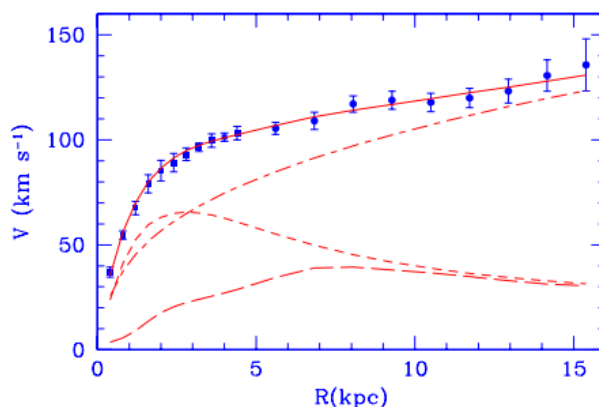
samme argument som brugt på side 9, altså at:  $r^2 + l^2 \approx r^2$  for  $r \gg l$ , kan det også ses at  $\frac{r^3}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}} \approx$

1, hvis  $r \gg l$ , og dermed må lighedstegnet også ca. gælde. Ellers må lighedstegnet ikke gælde. Altså gælder Keplers 1. lov mellem brænder, hvis og kun hvis  $r$  er tilstrækkelig stor på basis af størrelsen af  $l$ . Dette betyder at mørkt stof ikke kan gå i kredsløb om lyst stof og omvendt, når afstanden mellem dem ikke er stor nok. Derfor burde mørkt stof i vores synlige galakser også samle sig i ringe yderligt i galakserne, hvor afstanden til galaksernes massemidtpunkter er tilstrækkeligt store. Disse ringe hedder på engelsk "halos", og er faktisk et fænomen, som man har observeret, og som har stor betydning for igangværende forskning i mørkt stof [15,16,17]. Disse "glorier" observeres ved at kigge på rotationskurverne for lyst stof i galakser, hvilket også var måden, hvorpå man først observerede mørkt stof [18]. Man kan ud fra den estimerede masse af det synlige stof i en galakse lave en estimeret sammenhæng mellem legemets rotationshastighed omkring centrum og deres afstand fra centrum. De

observerede rotationshastigheder passer dog ikke på disse modeller. Herunder ses to separate grafer over sammenhængen:



[19] Her ses den estimerede [rød graf] og observerede [blå graf] rotationshastighed som funktion af afstanden til mælkevejens massemidtpunkt.



[16] Her ses også rotationshastigheden som funktion af afstanden til massemidtpunktet af galaksen M33. Den sammenhængende graf med datapunkterne er de observerede rotationshastigheder, grafen med de korte stipler er kontributionen fra det observerede lyse stof i galaksens disk, grafen med de lange stipler er kontributionen fra gassen i galaksen, og grafen med blandede stipler er kontributionen der er tilovers, som altså er fra det mørke stof.

På begge af disse grafer ses at rotationshastigheden mod forventning bliver ved med at stige, jo længere væk fra galaksernes massemidtpunkter vi kommer. Vi ser også på billedet til højre, at bidraget fra det mørke stof ikke er så stort ift. det synlige stof ved korte distancer. På billedet ses også at rotationshastighederne ved små værdier for  $r$  faktisk er mindre end forventet, hvilket kunne tolkes som glorien af mørkt stofs tyngdefelt, der påvirker den lyse masse længere inde mod galaksens massemidtpunkt med en kraft, der peger ud af galaksen. På dette billede ses også en pludselig stigning i rotationshastighed ved afstand på ca. 12 kpc. Den opstillede model passer altså i en vis grad på det data, som vi har fået gennem observationer af galakser.

## 4: Videreudvikling af modellen

Jeg har nu altså fremsat en model, der forklarer mørkt stofs opførsel og strukturdannelse. For at fuldføre modellen vil der dog være brug for en mere gennemgående udregning ved brug af Einsteins feltligninger, så vi kan se, hvorvidt modellen også stemmer overens med relativitetsteorien. Det vil også være nødvendigt af afprøve modellen mere grundigt. Dette indebærer at holde den op mod mere

data fra observerede rotationskurver og muligvis også den kosmiske linseeffekt [20], hvilket jeg heller ikke har de nødvendige færdigheder og det nødvendige udstyr til lige nu. Yderligere vil det også i høj grad styrke modellens troværdighed at lave en computersimulering på baggrund af modellen, hvor man vil se om man herudfra vil replicere opførslen af en observeret galakse. Jeg har heller ikke en computer, som er god nok til at kunne køre en simulation på denne skala, og jeg har heller ikke færdighederne indenfor programmering til at programmere sådan en simulation. Disse vil faktorer vil dog skulle gennemføres for at modellen vil kunne accepteres på generel plan. Indtil videre har vi i hvert fald en model, der giver en interessant og ny mulig løsning på et problem indenfor fysikken, der ikke endnu er løst.

## 5: Litteraturliste

- [1] Abbott, Edwin A., "Flatland", Dover Publications Inc., New York (1884)
- [2] Young, Hugh D., "Chapter 7: Conservation of Energy" og "Chapter 17: First Law of Thermodynamics", *University Physics: Eighth Edition*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York (1992)
- [3] Einstein, Albert, "General Results of the Theory", *Relativity: The Special and General Theory*, oversat af Lawson, Robert W., Henry Holt and Company, New York (1920)
- [4] Brydesholt, Morten, Ingwersen, Jens og Pedersen, Simon, "1.6 Kollision", *Orbit A stx*, Systime A/S, Aarhus (2019)
- [5] Randall, Lisa og Sundrum, Raman, "A Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension", *Phys. Rev. Lett.* 83, 3370-3373 (1999)
- [6] Randall, Lisa, "[Lisa Randall - Extra Dimensional Particle Resonances at the LHC \(1/3\)](#)", *Youtube*, (2012)
- [7] Garriga, Jaume og Tanaka, Takahiro, "Gravity in the Randall-Sundrum Brane World.", *Phys. Rev. Lett.* 84, 2778-2781 (2000)
- [8] Einstein, Albert, "The Foundation of the General Theory of Relativity", oversat af Engel. Alfred, *The Collected Papers of Albert Einstein: Volume 6*, Princeton University Press, (1997)
- [9] Khutoryansky, Eugene, "[Einstein's Field Equations of General Relativity Explained](#)", *Youtube*, (2018)
- [10] DrPhysicsA, "[Einstein Field Equations – for beginners!](#)", *Youtube*, (2013)
- [11] "[Dark Energy, Dark Matter](#)", *NASA Science: Astrophysics*, (2015)

- [12] Brydesholt, Morten, Gjøe, Tommy, Grønager, Johannes, Ingwersen, Jens, Jessen, Claus, Keller, Ole, Møller, Jan og Pedersen, Simon, "9.1 Rejsen starter: Jorden", *Orbit B*, Systime A/S, Aarhus (2019)
- [13] Saeta, Peter, HMC Mooc, "[Lecture 15.6 - Deriving Kepler's 1st Law, Pt. 1](#)", *Youtube*, (2013)
- [14] Saeta, Peter, HMC Mooc, "[Lecture 15.7 - Deriving Kepler's 1st Law, Pt. 2](#)", *Youtube*, (2013)
- [15] Wechsler, Risa H. og Tinker, Jeremy L., "The Connection between Galaxies and their Dark Matter Halos", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 56, 435-487 (2018)
- [16] Corbelli, Edvige og Salucci, Paolo, "The Extended Rotation Curve and the Dark Matter Halo of M33", *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 311, 441-447 (1999)
- [17] Reddick, Rachel M., Wechsler, Risa H., Tinker, Jeremy L. og Behroozi, Peter S., "The Connection Between Galaxies and Dark Matter Structures in the Local Universe", *Astrophys. J. Lett.* 771, (2013)
- [18] Rubin, Vera C., "Dark Matter in Spiral Galaxies", *Sci. Am.* 248, 96-109 (1983)
- [19] Ohare, Brews, "[Dark matter halo](#)", *Wikipedia*, (2019)
- [20] Massey, Richard, Kitching, Thomas og Richard, Johan, "The Dark Matter of Gravitational Lensing", *Rep. Prog. Phys.* 73, (2010)

## 6: Bilag

Hvis vi betragter to 4d-masser  $m_1$  og  $m_2$ , hvor der gælder:  $m_1 = m_2$ , og hvor der for vores 3d tværsnit gælder:  $m_{1_{3d}} < m_{2_{3d}}$ , hvilket betyder at tværnittende ikke har samme størrelse. Heraf må der gælde  $\frac{m_1}{m_2} \neq \frac{m_{1_{3d}}}{m_{2_{3d}}}$ . Vi kan nu opstille udtryk for energibevarelsen i både 3 og 4 dimensioner.

$$m_1 \cdot |\mathbf{u}_{\text{objekt1}}|^2 + m_2 \cdot |\mathbf{u}_{\text{objekt2}}|^2 = m_1 \cdot |\mathbf{v}_{\text{objekt1}}|^2 + m_2 \cdot |\mathbf{v}_{\text{objekt2}}|^2$$

⇕

$$\frac{m_1}{m_2} \cdot |\mathbf{u}_{\text{objekt1}}|^2 + |\mathbf{u}_{\text{objekt2}}|^2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot |\mathbf{v}_{\text{objekt1}}|^2 + |\mathbf{v}_{\text{objekt2}}|^2$$

Hvor fed skrift betegner vektorer,  $u$  betegner hastigheden inden stødet og  $v$  efter stødet. Hvis energibevarelsen skal finde sted i vores tværsnit, må der så også gælde:

$$\frac{m_{1_{3d}}}{m_{2_{3d}}} \cdot |\mathbf{u}_{\text{objekt1}}|^2 + |\mathbf{u}_{\text{objekt2}}|^2 = \frac{m_{1_{3d}}}{m_{2_{3d}}} \cdot |\mathbf{v}_{\text{objekt1}}|^2 + |\mathbf{v}_{\text{objekt2}}|^2$$

Vi har nu to ligninger, som vi kan trække fra hinanden og få:

$$|\mathbf{u}_{\text{objekt1}}|^2 \left( \frac{m_1}{m_2} - \frac{m_{13d}}{m_{23d}} \right) = |\mathbf{v}_{\text{objekt1}}|^2 \left( \frac{m_1}{m_2} - \frac{m_{13d}}{m_{23d}} \right)$$

⇕

$$|\mathbf{u}_{\text{objekt1}}| = |\mathbf{v}_{\text{objekt1}}|$$

Som altså skal gælde, hvis objekter har 4d udstræk. Dette kan per sætningen om bevarelse af bevægelsesmængde kun tilnærmelsesvist lade sig gøre i tilfældet af at  $m_1 \ll m_2$  eller  $m_1 \gg m_2$ , hvilket jo ikke er tilfældet. Altså må ligningen for 3d-energibevarelse være forkert, og dermed er 1. lov er termodynamikken brudt.

