



FORMLERNE BAG VERDEN 3

RELATIVITETSTEORIEN

Dette forløb introducerer eleverne til grundlæggende ideer om relativ bevægelse og videre ind i centrale principper fra både den specielle og den generelle relativitetsteori. Arbejdet tager udgangspunkt i modeller, observationer og enkle eksperimenter, der gør det muligt for eleverne at udvikle intuitiv forståelse, før begreberne formelt introduceres.

Forløbet begynder med eksempler fra hverdagen, der illustrerer, hvordan bevægelse afhænger af observatørens referenceramme. Disse observationer danner et praktisk udgangspunkt for drøftelser af, hvad vi egentlig mener med udsagn som “noget står stille” og “noget bevæger sig”, og hvordan dette altid må ses i forhold til en referenceramme. Med disse fælles observationer som udgangspunkt arbejder eleverne undersøgende med, hvordan lys og hastighed adskiller sig fra klassisk intuition, og hvordan fænomener som tidsforlængelse og længdeforkortelse kan modelleres og visualiseres. Herefter perspektiveres til den generelle relativitet, hvor eleverne får indblik i, hvordan tyngdefelter påvirker rum og tid, og hvordan dette har praktiske konsekvenser, fx for præcisionen af GPS-satellitter.

Målet er ikke, at eleverne skal mestre den matematiske formalisme i relativitetsteorien, men at de gennem undersøgelser, modelforklaringer og refleksioner udvikler en forståelse for, hvordan relativitetsteorien ændrede vores billede af fysikken og universet.

I FORLØBET KOMMER ELEVERNE BL.A. TIL AT:

- undersøge bevægelse i lukkede systemer (fly, biler) som udgangspunkt for relativ bevægelse.
- modellere, hvordan den samme bevægelse kan se forskellig ud afhængigt af referenceramme.
- udvikle begrebsforståelse for ordet “relativ” i fysikfaglig betydning.
- eksperimentere med modeller af lys og reflektere over, hvorfor lysets hastighed behandles anderledes end andre bevægelser.
- arbejde med eksempler på tidsforlængelse og længdeforkortelse og opdage, at disse er målbare og nødvendige i moderne teknologi.
- opnå indblik i, hvordan tyngdekraft som felt kan forstås som en krumning af rum og tid.

BEGREBSLISTE TIL KAPITLET:

- Den specielle relativitetsteori
- Den almene relativitetsteori
- Relativ / relativ bevægelse
- Absolut (som kontrast til relativ)
- Referenceramme
- Hastighed
- Tidsforlængelse
- Længdeforkortelse
- Tyngdefelt
- Rumtid
- GPS-satellitter (som anvendt eksempel)



SE FILMEN:



**RELATIVITETSTEORIEN:
FORMLERNE BAG VERDEN - NATURFAG MED FLYVEVÅBNET. EP 3**

1) PAPIRFLY I ET LUKKET SYSTEM

FORMÅL

At forstå, hvordan bevægelse i et lukket system – som et fly eller en rullende togvogn – opleves forskelligt afhængigt af observatørens placering.

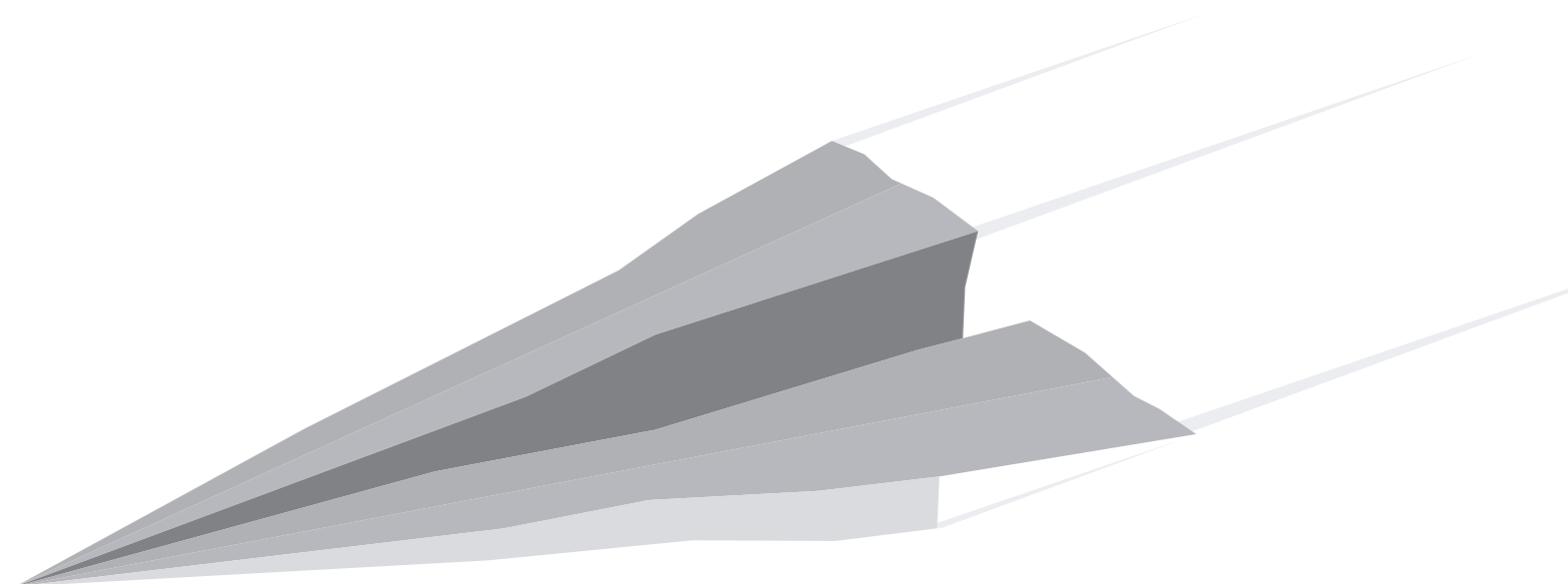
MATERIALER

- Papirfly
- Rullende stol, bord eller vogn
- Målebånd
- Stopur
- Mobilkamera (til slowmotion – valgfrit)

FREMGANGSMÅDE

1. Reference-måling:
Kast papirflyet, mens du står stille. Mål flyvedistance og flyvetid.
2. Kaster bevæger sig:
Sæt dig på en stol/bord/vogn og lad en makker skubbe dig med jævn fart.
Kast papirflyet igen i samme retning, som du bevæger dig, og mål flyvedistance og tid.
3. Hele systemet bevæger sig:
Gå i samlet flok i én retning, mens én elev kaster flyet.
Observer og mål som før.
4. Videoanalyse (valgfrit):
Sammenlign, hvad dem, der bevægede sig med kasteren, og dem, der stod udenfor, observerede og oplevede.

Bemærk: Sørg for at bevægelsen er jævn. Hvis systemet accelererer eller ryster, ændres forsøgsbetingelserne.



MODELLERINGSOPGAVE

Lav to tegninger af den samme situation:

1. Kasterens synsvinkel (på vognen)
2. Observatørens synsvinkel (på gulvet)

Sæt pile på for at vise:

- flyets retning
- kasterens/vognens retning
- hvordan perspektivet ændrer oplevelsen af bevægelsen

Tip: Overvej hvilke størrelser der er ens i begge modeller, og hvilke der ændrer sig.

TAL SAMMEN OM

- Hvorfor ser flyets bevægelse forskellig ud afhængigt af, hvor man står?
- Hvad betyder udsagnet “fysikken er den samme i et lukket system”?
- Hvorfor kan man spille bold i et fly i jævn fart, som om man stod stille?



2) REFERENCERAMMER

– TÆNK OG TEGN

FORMÅL

At undersøge, hvordan bevægelse og hastighed kan opleves forskelligt, afhængigt af hvem, der observerer, og hvilket perspektiv (referenceramme) man bruger.

I denne aktivitet skal I tænke først og derefter tegne, så jeres tegninger hjælper jer med at forklare jeres tanker.

DEL 1: FLUEN I BILEN

En bil kører med 120 km/t på motorvejen. Inde i bilen flyver en flue fra bagagerummet frem mod forruden.

TÆNK:

1. Set indefra bilen:

- Flyver fluen lige frem, bagud eller i en bue?
- Bevæger fluen sig hurtigt eller langsomt?

2. Set udefra vejen:

- Hvordan bevæger fluen sig set fra en person, der står stille ved vejen?
- Har fluen samme hastighed som bilen? Hvorfor / hvorfor ikke?

TEGN TO PERSPEKTIVER

Tegning A: Set indefra bilen

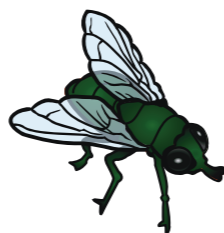
- Tegn bilen set fra siden.
- Tegn fluen, der flyver lige frem i bilen.
- Sæt pile på fluens bevægelse

Tegning B: Set udefra

- Tegn bilen set udefra (på vejen).
- Tegn fluen inde i bilen.
- Vis med pile bilens bevægelse og fluens samlede bevægelse

TÆNK:

- Ser fluen ud til at bevæge sig på samme måde i de to tegninger?
- Hvilken bevægelse er "den rigtige"?



DEL 2: TOGET DER SNYDER

I sidder i et tog, der holder stille på stationen. I kigger ud af vinduet og ser, at der holder et andet tog på sporet lige ved siden af. Pludselig begynder det andet tog at køre.

TÆNK:

1. Hvad føles det som, lige i det øjeblik toget ved siden af begynder at køre? Føles det som om I kører? Det andet tog kører? Begge dele?
2. Hvad sker der, hvis det er jeres tog, der begynder at køre? Eller hvis begge tog kører med samme hastighed?

TEGN TO PERSPEKTIVER

Tegning C: Set fra jeres tog

- Tegn jeres tog.
- Tegn toget ved siden af.
- Vis med pile, hvordan det andet tog ser ud til at bevæge sig.

Tegning D: Set fra perronen

- Tegn begge tog set udefra.
- Vis med pile, hvilket tog der bevæger sig, og hvilket der står stille.

TÆNK:

- Hvorfor kan det føles, som om det er jer, der kører – selvom det ikke er det?
- Hvad mangler man at vide, før man kan sige, hvem der bevæger sig?

OPSAMLING

Skriv 3-5 linjer, hvor du bruger sætningen:

"Bevægelse kan ikke beskrives uden at sige i forhold til ..."

Brug mindst ét eksempel fra fluen i bilen eller togene på stationen.

3) HVAD BETYDER “RELATIV”?



FORMÅL

At opleve, gennem leg, eksempler og modeller, at mange beskrivelser i hverdagen og i fysik afhænger af perspektiv og observatør.

At få en konkret forståelse af, hvad relativ betyder, før vi arbejder med relativitetsteori i fysik.

1. DISKUSSION OG ROLLESPIL

I skal lave korte, sjove scenarier, hvor betydningen af et udsagn ændrer sig alt efter:

- hvem man er
- hvad man sammenligner med
- hvor man befinder sig

Vælg ét udsagn:

- “Det er koldt”
- “Du er hurtig”
- “Bakken er stejl”
- “Du larmer”
- Eller find selv på et udsagn

Spil scenariet:

- Vis mindst to forskellige situationer, hvor udsagnet betyder noget forskelligt.

Notér kort:

- Hvornår passer udsagnet?
- Hvornår passer det ikke?

2. VIS ET RELATIVT BEGREB

Vælg et dagligdags ord, som I mener er relativt.
Eksempler: **Stor, varm, tung, langsom, høj, kold**

Lav en illustration til begrebet. Det kan være en tegning, en collage eller en lille model. Illustrationen skal vise, hvad ordet betyder i én situation, og hvordan betydningen ændrer sig i en anden situation.

Forbered en kort forklaring til klassen: **“Begrebet er relativt, fordi ...”**

3. FRA HVERDAG TIL FYSIK: BEVÆGELSE ER RELATIV

Svar først uden at diskutere: **Er DU i bevægelse nu?**
(Skriv svaret på en lille lap papir og vend alle jeres papir på samme tid)

Diskutér:

- Kan I alle have ret på samme tid?
- Hvad afhænger svaret af?

NYT BEGREB: REFERENCERAMME

Når man ikke er enig, mangler der noget i beskrivelsen. I fysik kalder vi det en referenceramme. Her er nogle eksempler:

- **Du sidder stille i en bus**
for dig selv: **ikke i bevægelse**
for en person på fortovet: **i bevægelse**
- **Du står stille i klasselokalet**
i forhold til bordet: **stille**
i forhold til Solen: **i bevægelse**

Skriv to sætninger. Begge skal indeholde ordene **“i forhold til”**.

1. Jeg er i bevægelse, når ...
2. Jeg er ikke i bevægelse, når ...

HUSK

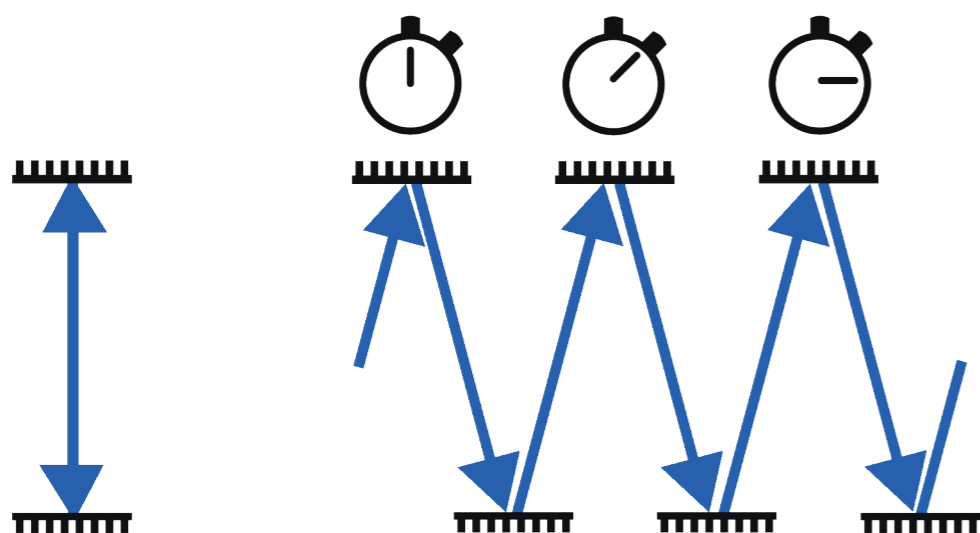
Relativitet betyder ikke, at “alt er lige meget”. Det betyder, at man altid skal sige i forhold til hvad.

4) TIDSFORLÆNGELSE

FORMÅL

At få en intuitiv forståelse af, hvordan tidsforlængelse opstår i relativitetsteorien, når noget bevæger sig hurtigt. Ved hjælp af en model – et lysur – undersøger vi, hvorfor tid kan gå forskelligt for observatører i bevægelse.

BAGGRUND – HVAD ER ET LYSUR?



Et lysur består af to spejle, der står overfor hinanden, og en lysstråle, som reflekteres frem og tilbage mellem spejlene. Hver gang lyset reflekteres, tæller man et "tick" – ligesom et ur.

Når lysuret står stille i forhold til observatøren, bevæger lyset sig direkte op og ned mellem spejlene.

Når lysuret bevæger sig, ser en observatør udefra lysets bane som skrå/diagonal (en længere strækning), fordi lysuret flytter sig sidelæns, mens lyset bevæger sig op og ned.



FREMGANGSMÅDE

1. Byg en model af lysuret

- Brug en papkasse eller en lille æske.
- Sæt to små spejle i den – ét i bunden og ét i toppen.
- Brug en lille bold, laserpeger eller lommelygte til at simulere lysrefleksion mellem spejlene.

2. To modeller

Model A: Lysuret står stille

- Stil lysuret stille på bordet.
- Tegn, hvordan lyset bevæger sig mellem spejlene set udefra.

Model B: Lysuret står stille

- Hold lysuret i hånden og bevæg det roligt sidelæns.
- Tegn, hvordan lysets bane ser ud set udefra, mens lysuret bevæger sig.

OBSERVATION

- Hvordan ændrer lysbanen sig, når lysuret bevæger sig?
- Er lysbanen kortere, lige så lang eller længere, når lysuret bevæger sig?
- Hvorfor bliver lysbanen diagonal set udefra?
- Hvorfor betyder dette, at tiden for et "tick" tager længere tid i det bevægende lysurs referenceramme? Hint: Brug formlen for tid: $\text{tid} = \text{afstand} / \text{hastighed}$

HUSK

- Dette er en model – vi kan ikke måle tidsforlængelse direkte i klasselokalet.
- Modellen hjælper os med at forstå, hvorfor relativitetsteorien siger, at tid afhænger af bevægelse.

5) RUMSKIBET KRYMPER



FORMÅL

At få en konkret og visuel forståelse af længdekontraktion – et fænomen fra relativitetsteori- en, hvor et objekt kan se kortere ud, når det bevæger sig meget hurtigt, og hvor længden derfor afhænger af observatøren.

HVAD HANDLER AKTIVITETEN OM?

I relativitetsteori- en afhænger målinger af bevægelse og observatørens placering. Når et rum- skib bevæger sig tæt på lysets hastighed, vil en observatør udenfor opleve, at rumskibet er forkortet i bevægelsesretningen.

Det er vigtigt at huske:

- Rumskibet mærker ikke selv, at det bliver kortere.
- Effekten handler om måling og observation, ikke om at rumskibet fysisk bliver klemt.

MODELLERING TRIN FOR TRIN

1. Byg et rumskib

- Brug LEGO-klodser eller pap til at bygge et simpelt “rumskib”, som kan måles præcist.
- Mål og noter rumskibets længde i hviletilstand – altså mens det ligger stille på bordet.

2. Simuler bevægelse

- Vælg en, der styrer rumskibet, kaptajnen, og en der er observatør.
- Kaptajnen simulerer rumskibets bevægelse ved at “køre” det hurtigt forbi observatøren, som ser det fra siden.
- Observatøren bruger et målebånd til at bestemme den “opfattede længde” af rumskibet, både når det bevæger sig “hurtigt”, og når det står stille. Gentag nogle gange.
- Skift roller, og opsaml mere data.
- Tegn jeres observationer.

3. Sammenligning

Tal sammen om, hvordan rumskibet opleves af observatøren i hvile, og hvordan det opleves, når det bevæger sig.

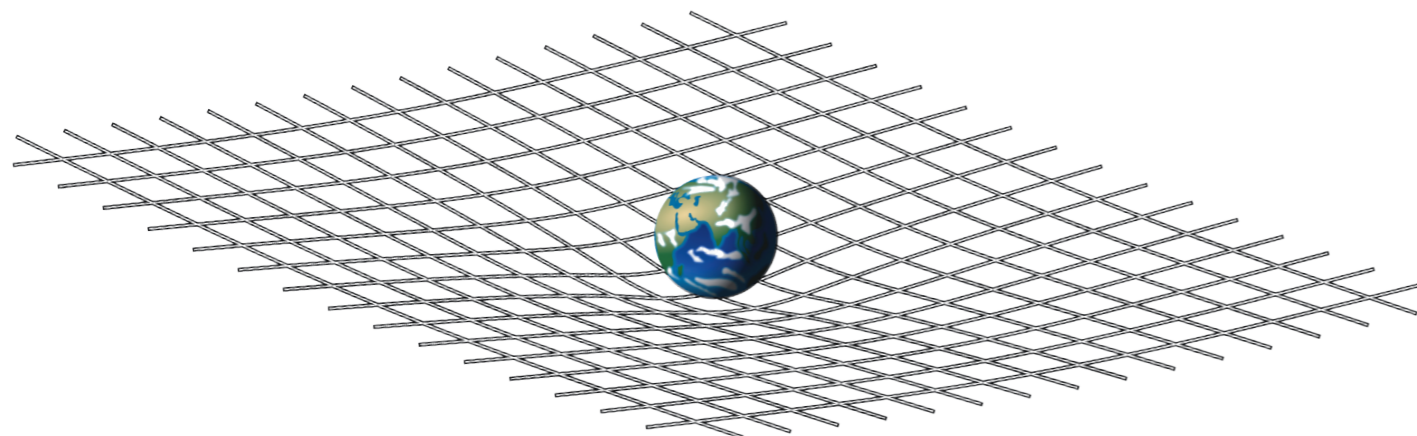
4. Refleksionsspørgsmål

- Hvordan kan man forestille sig, at rumskibet ser kortere ud i bevægelsesretningen ved høj fart?
- Er rumskibet virkelig blevet mindre?
- Hvem oplever længdekontraktionen?

HUSK

Dette er en model, der hjælper os med at forstå relativitet – ikke et eksperiment, der måler effek- ten direkte.

6) TYNGDEKRAFT BØJER RUMTIDEN



FORMÅL

At få en konkret og visuel forståelse af, hvordan masse kan bøje rummet omkring sig, og hvordan denne krumning får objekter til at bevæge sig i buede baner. Aktiviteten fungerer som en model for tyngdekraft i Einsteins generelle relativitetsteori.

MATERIALER

- Et lagen, tæppe eller elastisk stof (fx et trampolinlignende net)
- En større, tung kugle fx petanquekugle
- En lille, lettere kugle fx glaskugle

FREMGANGSMÅDE

1. Stræk lagenet stramt ud mellem flere personer eller over en ramme, så det danner en flad og elastisk overflade.
2. Placer den tunge kugle midt på lagenet, og observer, hvordan lagenet trykkes ned og danner en fordybning.
3. Rul den lille kugle hen over lagenet et stykke væk fra den tunge kugle. Prøv at rulle den langsomt, hurtigere og tættere på den tunge kugle. Observer, hvordan kuglens bane ændrer sig.

OBSERVATIONER

- Hvordan ser overfladen ud omkring den tunge kugle?
- Bevæger den lille kugle sig i en lige linje eller en buet bane?
- Kan den lille kugle komme til at kredse rundt om den tunge kugle?

HVAD SVARER MODELLEN TIL I VIRKELIGHEDEN?

I MODELLEN	I VIRKELIGHEDEN
Lagenet	Rummet omkring planeter og stjerner
Den tunge kugle	Noget meget tungt i rummet
Den lille kugle	Noget lettere, der bevæger sig
Den buede bane	Et kredsløb eller en bane rundt om noget tungt

MODELLERING

- Tegn en flad overflade først (rum uden masse).
- Tegn derefter en overflade med en fordybning (rum med masse).
- Marker hvordan en lille kugle (eller lys) følger en buet bane på den krummede overflade.



LÆRERNOTER TIL ØVELSERNE

FAGLIG FORKLARING (LÆREROPLÆG ELLER EFTERARBEJDE)

1) PAPIRFLY I ET LUKKET SYSTEM

Dette forsøg introducerer eleverne til begrebet relativ bevægelse og referencerammer. Pointen er, at det samme fysiske forløb kan observeres forskelligt afhængigt af observatørens placering, men at de fysiske love forbliver uændrede, så længe systemet bevæger sig med konstant fart uden rotation eller acceleration.

Når kasteren står på en vogn i jævn bevægelse og kaster et papirfly, oplever kasteren, at flyet bevæger sig lige ud, som om vognen stod stille. For en ekstern observatør, der står stille på gulvet, er flyets bane en vektorsum af kasterens bevægelse og flyets egen bevægelse, hvilket giver et buet bevægelsesmønster. Eleverne får dermed mulighed for at erfare, at bevægelse ikke kan beskrives uden at angive en referenceramme.

Forsøget er en god anledning til at introducere:

- at hastighed altid er relativ til noget
- at inerti og Newtons love virker ens i et lukket system i jævn bevægelse
- hvorfor fysikeksperimenter kan udføres på samme måde i et fly i konstant fart som på Jorden (Galileis inertiprincip)

Sørg for, at bevægelsen er jævn; små skub og ujævn fart gør, at eleverne oplever ændringer, som skyldes acceleration og derfor mudrer pointen. Synliggør forskellen mellem det, eleverne måler (flyvetid og distance) og det, de observerer (baneform og retning). Brug modellering (to tegninger) til at støtte elevernes overgang fra oplevelse til abstrakt repræsentation. Brug aktiviteten som bro til relativitetsteorien, men pres ikke på med matematikken endnu – her er fokus på intuition og perspektivskifte.

Dette forsøgs centrale erkendelse:

“Observationen af bevægelse ændrer sig med referencerammen – men fysikkens love gør ikke.”

Typiske elevmisforståelser (opmærksomhedspunkter):

- “Flyets bane ændrer sig, når kasteren kører” → nej, banen ændrer sig ikke fysisk, men ser anderledes ud fra en anden referenceramme
- “Man mærker bevægelsen i et fly” → kun hvis flyet accelererer, ændrer retning eller rystes af luftlommer
- “Hvis noget ser buet ud, er det buet” → introduceres her som perspektivafhængighed af bevægelse

2. REFERENCERAMMER – TÆNK OG TEGN

Denne aktivitet introducerer eleverne til et grundlæggende princip i fysik: At bevægelse og hastighed ikke er absolutte, men altid afhænger af observatørens referenceramme.

Aktiviteten ligger fagligt inden for:

- klassisk mekanik (galilæisk relativitet)
- forforståelse til relativitetsteori
- begreberne bevægelse, hastighed, observatør og referenceramme

Den er særligt velegnet som begrebsintroduktion og overgang fra hverdagsprog til fysiksprog.

I fysik kan man ikke sige, om noget bevæger sig, uden samtidig at sige i forhold til hvad. Dette kaldes referenceramme. I “fluen i bilen”-situationen i denne øvelse er bilen én referenceramme, vejen en anden. I bilens referenceramme flyver fluen “almindeligt”. I vejens referenceramme har fluen både bilens fremadrettede hastighed plus sin egen flyvehastighed. I tog-eksemplet mangler sanserne et fast referencepunkt, hvilket skaber illusionen af bevægelse. Først når man inddrager perronen (en tredje referenceramme), kan man afgøre, hvem der faktisk bevæger sig.

3. HVAD BETYDER “RELATIV”?

Denne aktivitet fungerer som en begrebsopbygning og stilladsering frem mod arbejdet med relativitet i fysik. Formålet er ikke at introducere relativitetsteori i teknisk forstand, men at give eleverne en erfaringsbaseret forståelse af relativitet som idé – at beskrivelser og målinger afhænger af perspektiv, sammenligningsgrundlag og observatør.

Aktiviteten er central, fordi den tager udgangspunkt i elevernes hverdagsprog og udfordrer idéen om, at beskrivelser altid er absolutte.

I fysik betyder relativ, at en størrelse kun giver mening i forhold til noget andet. Det gælder fx:

- bevægelse (i forhold til en referenceramme)
- hastighed (i forhold til en observatør)
- position (i forhold til et nulpunkt)

Aktiviteten bygger bro fra hverdagsrelativitet (koldt/varmt, hurtigt/langsomt) til fysisk relativitet (bevægelse og referencerammer). Ved at arbejde bevidst med uenighed (“er jeg i bevægelse?”) oplever eleverne, at fysik ikke handler om meninger, men om præcise beskrivelser.



4. TIDSFORLÆNGELSE

Dette forsøg introducerer eleverne for et af de mest centrale og samtidig mest kontraintuitive resultater i moderne fysik: tidsforlængelse. Ved hjælp af lysuret – et klassisk tankeeksperiment fra den specielle relativitetsteori – får eleverne en geometrisk og intuitiv forståelse af, hvorfor tid ikke kan være absolut, når lysets hastighed er konstant.

Forsøget er velegnet til:

- at udfordre elevernes hverdagsforståelse af tid
- at arbejde med referencerammer og observatørbegrebet
- at tydeliggøre, at relativitet ikke handler om “synsbedrag”, men om fysiske nødvendigheder

Et lysur består af to spejle og en lysstråle, der bevæger sig frem og tilbage mellem spejlene. Ét “tick” svarer til én tur frem og tilbage. I lysurets egen referenceramme bevæger lyset sig lodret op og ned mellem spejlene. For en observatør, der ser lysuret bevæge sig sidelæns, vil lysets bane fremstå som diagonal.

Den afgørende pointe er:

- Lysets hastighed er konstant for alle observatører.
- Når lysbanen bliver længere (diagonal i stedet for lodret), og hastigheden er den samme, må tiden for hvert “tick” nødvendigvis blive længere.

Dette kan forklares direkte med sammenhængen:
 $tid = afstand/hastighed$

Forsøget viser dermed, at tidsforlængelse ikke er en teknisk detalje, men en logisk konsekvens af lysets konstante hastighed. Eleverne må ikke få indtryk af, at forsøget beviser tidsforlængelse – det er en model, der illustrerer et teoretisk resultat. Tegneopgaven er central: tidsforlængelse er først og fremmest et geometrisk argument.

5. RUMSKIBET KRYMPE

Denne aktivitet introducerer eleverne for længdekontraktion, et centralt begreb i den specielle relativitetsteori. Gennem en konkret og visuel model arbejder eleverne med, at længde ikke er absolut, men kan afhænge af bevægelse og observatør. Aktiviteten bygger videre på tidsforlængelse og lysure og udgør dermed et naturligt næste skridt i relativitetsforløbet.

Forsøget er velegnet til at:

- udfordre elevernes intuitive forestilling om faste længder
- arbejde med observatørbegrebet og referencerammer
- tydeliggøre forskellen mellem model og virkelighed

Ifølge relativitetsteorien vil et objekt, der bevæger sig med meget høj hastighed i forhold til en observatør, blive målt kortere i bevægelsesretningen. Dette kaldes længdekontraktion eller Lorentz-kontraktion.

Vigtige pointer:

- Længdekontraktion sker kun i bevægelsesretningen, ikke på tværs.
- Effekten observeres kun udefra – objektet selv oplever ingen ændring i sin egen længde.
- Længdekontraktion handler ikke om, at objektet fysisk presses sammen, men om hvordan rum og tid hænger sammen i målinger.



I aktiviteten kan eleverne ikke måle den reelle effekt, da hastigheden er alt for lille, men modellen bruges til at visualisere og forstå princippet bag teorien.

Aktiviteten åbner naturligt for diskussioner om, hvad det vil sige at måle noget, og hvornår to observatører er enige eller uenige.

6. TYNGDEKRAFT BØJER RUMTIDEN

Denne aktivitet introducerer eleverne til Einsteins forklaring på tyngdekraft som en konsekvens af rumtidens krumning frem for en klassisk trækraft. Ved hjælp af en enkel og meget visuel model (lagenet) kan eleverne erfare, hvordan masse påvirker omgivelserne og dermed bevægelsen af andre objekter.

Aktiviteten er særligt velegnet til:

- at give en intuitiv introduktion til generel relativitet
- at sammenligne Newtons og Einsteins forklaringer på tyngdekraft
- at arbejde med modelbegrebet og modellens styrker og begrænsninger

Ifølge den generelle relativitetsteori er tyngdekraft ikke en kraft i traditionel forstand, men et resultat af, at masse og energi krummer rumtiden. Objekter – herunder planeter, satellitter og endda lys – bevæger sig langs de “lige” baner (geodæter) i denne krumme rumtid, som for en observatør fremstår som buede baner.

I modellen:

- repræsenterer lagenet rumtiden
- den tunge kugle repræsenterer en stor masse (fx en planet eller stjerne)
- den lille kugle repræsenterer et mindre objekt, der bevæger sig i tyngdefeltet

Når lagenet bøjes nedad omkring den tunge kugle og danner en tragtformet fordybning, tvinges den lille kugle til at ændre bane – ikke fordi den trækkes direkte, men fordi den følger overfladens geometri. Dette svarer til, at objekter i rummet følger rumtidens krumning – en central pointe er altså, at den lille kugle ikke bevæger sig, fordi den bliver trukket, men fordi rummet, den bevæger sig i, er krumt.

Modellen gør et abstrakt begreb kropsligt og synligt. Det er vigtigt at understrege, at:

- der ikke findes et “nedad” i rummet
- lagenet bruger Jordens tyngdekraft til at skabe en deformation, som i virkeligheden ikke er nødvendig for rumtidens krumning

Aktiviteten egner sig godt til en klassensamtale, hvor elevernes observationer gradvist oversættes til fysikfaglige begreber.



 **Danmarks
Naturfagslærerforening**