



## Exempel på gymnasiearbete inom naturvetenskapsprogrammet – naturvetenskap

### Mpemba-effekten

#### Elevens idé

Rana ska utföra sitt gymnasiearbete i grupp tillsammans med Marcus. De väljer att arbeta med Mpemba-effekten (att varmt vatten kan frysa snabbare än kallt vatten). Mpemba-effekten har en spännande historia. Effekten har rapporterats av bland andra Aristoteles, Francis Bacon och Descartes och fick sitt namn efter den tanzaniske gymnasieeleven Erasto Mpemba som återupptäckte och uppmärksammade den under en matlagningslektion. Den verkar till synes vara enkel att beskriva och studera men visar sig vid närmare studie vara beroende av många olika parametrar. Trots att ett antal förklaringsmodeller har lagts fram är det fortfarande inte fullständigt klarlagt vilka olika parametrar som kan ha betydelse för Mpemba-effekten.

Rana fick upp ögonen för effekten då de arbetade med den i fysik 1. Läraren använde den som ett exempel på den naturvetenskapliga arbetsmetoden och utmanade eleverna med frågan ”Vad tror ni händer om ni ställer in varmt och kallt vatten i frysen – vilket kommer att frysa först?”. Eleverna fick sedan undersöka detta empiriskt hemma.

Mpemba-effekten illustrerar flera aspekter av den vetenskapliga metoden, till exempel relationen mellan teori och experiment, betydelsen av en öppen attityd gentemot oväntade resultat samt betydelsen av precist formulerade och vetenskapligt prövbara hypoteser.

#### Frågeställning

Rana och Marcus formulerar sin frågeställning på följande sätt:

*Under vilka förutsättningar kan Mpemba-effekten uppstå och vilka teoretiska modeller är möjliga att använda för att förklara effekten i de olika situationerna där den uppstår?*

Rana inser komplexiteten i problemet efter att ha studerat litteraturen som beskriver tidigare undersökningar och diskuterar avgränsningar av arbetet med Marcus och läraren. Viktiga delar av gymnasiearbetet består i att identifiera relevanta parametrar för när Mpemba-effekten kan uppstå, formulera prövbara hypoteser samt planera genomförbara experiment för att undersöka relevansen hos dessa parametrar. Att arbeta med effekten ger eleverna möjlighet att få uppleva en öppen forskningssituation.

## Koppling till examensmålen

Ranas gymnasiearbete harmonierar med examensmålen för naturvetenskapsprogrammet. För att kunna angripa frågeställningen behöver hon kunna tillämpa ett naturvetenskapligt arbetssätt. Hon behöver analysera situationen, formulera hypoteser som är möjliga att pröva med naturvetenskapliga metoder, planera och genomföra lämpliga empiriska undersökningar samt analysera, tolka och utvärdera resultaten från sina undersökningar. I formuleringen av hypoteserna får hon reflektera kring vilka påståenden som är möjliga att bygga på vetenskaplig grund. Rana behöver också kunna ta initiativ och omsätta idéer i praktiken, bland annat genom att planera och genomföra egna experiment. Frågeställningens öppna karaktär kräver ansvarstagande och förmåga att samarbeta.

För att kunna värdera och resonera kring de olika parametrar och modeller som kan vara relevanta för att studera och beskriva frågeställningen behöver Rana kunskaper i fysik och kemi. Kunskaper i matematik använder hon när hon ska analysera mätdata och eventuellt formulera matematiska modeller. Mätningarna behöver eventuellt också kompletteras med numeriska beräkningar. När hon samlar in mätdata och analyserar data använder hon modern teknik och utrustning.

För litteraturstudierna (på svenska och engelska) krävs att Rana kan förhålla sig kritiskt till det som står och relatera påståenden till sina egna hypoteser och resultat. Hon ska beakta de idéhistoriska sammanhangen i vilka olika påståenden gjorts och får också tillfälle att reflektera kring varför frågeställningen inte ägnats större uppmärksamhet av naturvetare innan Mpemba återupptäckte den. Arbetet har alltså även kopplingar till ämnena svenska, engelska, historia och samhällskunskap.

## Planering

Rana genomför huvudsakligen sitt gymnasiearbete på skolan och i hemmet. Skolbiblioteket bidrar med resurser och databaser för informationssökning. Undersökningens karaktär gör att experimenten kan utföras utan tillgång till avancerad utrustning. De planerar dock att använda modern teknik i form av mätvärdesinsamlare (datalogger) för datainsamling samt datorer för dataanalys och för eventuella numeriska beräkningar. Eventuella kontakter med högskolan kan ge möjlighet att använda deras resurser, genom till exempel intervjuer med forskare eller tillgång till

databaser och litteratur.

Rana planerar att utföra sitt arbete enligt följande arbetsgång:

## *1. Identifiering av relevanta parametrar och formulering av prövbara hypoteser*

Vilka källor ska hon använda sig av för att sätta sig in i tidigare undersökningar? Vilka teorier behöver hon fördjupa sin kunskap i? I vilken mån och på vilket sätt kan expertis på högskolan användas? Hur många olika parametrar och hypoteser ska undersökas?

*2. Genomförande av experiment samt eventuella numeriska beräkningar* Vilken utrustning och vilket material behövs? Var ska experimenten utföras? Måste speciella säkerhetsaspekter beaktas och i så fall hur? Kan skolans kontakter med en högskola användas?

## *3. Analys och redovisning av mätdata*

Vilken typ av matematisk behandling ska utföras? Behövs dataanalysprogram och i så fall vilka?

## *4. Revidering och utveckling av sina hypoteser samt prövning av nya hypoteser*

Rana planerar för eventuellt tillkommande experiment.

## *5. Rapportskrivning*

I vilken ordning ska de olika delarna av rapporten skrivas? Samordning av skrivarbete.

## *6. Redovisning och respons*

Hur ska presentation och respons på arbetet gå till? Enligt lärarens planering kommer läraren och några andra elever att ge respons på rapporten vilket eventuellt medför ytterligare revidering. Rana planerar in tid för bearbetning av rapport och förberedelsearbete inför presentationen.

## *7. Utvärdering*

Rana planerar in tid för att regelbundet anteckna hur arbetet fortskrider. Anteckningarna sparar hon tillsammans med annat material i en mapp för projektarbetet. Anteckningar kommer sedan att utgöra en grund för den slutliga utvärderingen.

## Genomförande

### Förberedelser

Rana är förberedd för gymnasiearbetet genom sina tidigare studier. Hon har arbetat med ämnesövergripande miniprojekt, där hon successivt utvecklat kunskaper i bland annat projektplanering, forskningsmetodik, källhantering och rapportskrivande.

Före den första intensivveckan väljer Rana och Marcus ämnesområde, formulerar och avgränsar sin problemformulering, genomför litteraturstudien samt påbörjar

resonemang kring val av parametrar, formulering av hypoteser och planering av experiment, i samråd med ansvarig lärare och medbedömare. Läraren som handleder Ranas gymnasiearbete är fysik- och matematiklärare. Medbedömaren är lärare i kemi och dessutom skolans kontaktperson i samarbetet med universitetet.

Under denna period sätter sig Rana in i Mpemba-effekten och olika förklaringsmodeller för fenomenet genom att söka och studera litteratur. Hon och Marcus resonerar kring vilka parametrar som kan tänkas vara relevanta för deras frågeställning samt möjliga att undersöka vetenskapligt med den tillgängliga utrustningen. Har till exempel storleken eller färgen hos vattenbehållaren, den elektriska ledningsförmågan hos kylskåpets väggar, andra egenskaper hos kylskåpet, vädret utomhus eller huruvida det är fullmåne i natt betydelse? Efter samråd med läraren bestämmer de sig för att undersöka några parametrar.

## Hypoteser och experiment

Rana och Marcus resonerar därefter kring hur de ska formulera hypoteser som är relevanta och prövbara samt hur de ska genomföra sina experiment: vad är möjligt att mäta på ett väldefinierat sätt och hur? Utifrån dessa resonemang formulerar de några hypoteser som de bestämmer sig för att undersöka experimentellt. De undersöker och jämför till exempel följande typer av formuleringar: ”varmt vatten fryser alltid snabbare än kallt vatten”, ”varmt vatten fryser alltid snabbare än kallt vatten under förutsättningen att alla andra förhållanden, till exempel vattenmassa, form och typ hos behållaren, är exakt likadana” eller ”det finns vissa starttemperaturer för vilka varmt vatten fryser snabbare än kallt vatten under förutsättningen att alla andra förhållanden är exakt likadana”. Ett annat exempel på resonemang är kring begreppet ”fryser” och hur det kan definieras på ett entydigt och mätbart sätt: är det till exempel när den första iskristallen bildas, när hela vattnet fryst eller när någon del av vattnet når temperaturen  $0^{\circ}\text{C}$ ?

Rana och Marcus genomför experiment delvis i skolan, delvis hemma. De använder sig av mätvärdesinsamlare och datorer för insamlingen och bearbetningen av mätdata. Rana har under intensivveckan regelbunden kontakt med läraren. Arbetet fortsätter under tiden mellan första och andra intensivveckan. De resonerar kring huruvida resultaten är tillräckliga för att besvara de uppställda hypoteserna och upptäcker bland annat att det ursprungliga valet av parametrar och hypoteser behöver utvecklas och omformuleras. Rana och Marcus bestämmer sig för att komplettera sina resultat genom att formulera och undersöka en ny hypotes.

## Analys och slutsatser

Eleverna tolkar slutligen alla sina resultat för att besvara den ursprungliga frågeställningen. Utifrån vad de observerat om olika parametrars inverkan på Mpemba-effekten drar de, efter samråd med läraren, en slutsats kring vilka förutsättningar som kan orsaka effekten. De föreslår också en tänkbar teoretisk förklaringsmodell till de observerade resultaten.

# Skolverket

Frågeställningen belyser de ur olika perspektiv genom att ge exempel på hur resultaten kan ha betydelse för praktiska tillämpningar, till exempel vardagskunskap som att man inte bör tvätta bilen med varmt vatten på vintern eller att varma vattenrör sprängs lättare än kalla vattenrör på vintern. Rana och Marcus diskuterar också hur resultaten kan ge indikationer till varför Mpemba-effekten avfärdades som orimlig ända in på 1900-talet, trots att den hade observerats och dokumenterats redan på antiken.

## Redovisning och respons

Rana arbetar på den skriftliga rapporten kontinuerligt under processen. Ett ofärdigt utkast lämnas in till läraren, så att eleverna kan få respons på den före den andra intensivveckan. De färdigställer rapporten som innehåller en engelsk sammanfattning under den andra intensivveckan. Skolan har en mall för rapportskrivning som eleverna är bekanta med och nu följer. De har även under denna intensivvecka några regelbundna möten med läraren. I slutet av veckan trycks rapporten upp och delas ut till lärare, medbedömare och till de elever som ger respons på arbetet. Rana och Marcus värderar och bemöter responsen samt reviderar och kompletterar sitt arbete efter responsen. De förbereder också sin muntliga presentation.

Den muntliga presentationen sker under ett seminarium. Vid den muntliga presentationen ställer de elever som särskilt läst Ranas arbete ett par frågor var, valda utifrån deras respons till arbetet. Rana och Marcus bemöter frågorna och beskriver hur de försökt ta hänsyn till responsen i revideringen av rapporten.

## Utvärdering

Under arbetets gång har Rana antecknat sina resonemang och tankar om hur arbetet fortskrider. Anteckningarna finns i en mapp för gymnasiearbetet och är tillgängliga för läraren. Rana använder sig av anteckningarna när hon tillsammans med den ansvariga läraren utvärderar sitt arbete muntligt. Det framkommer, såväl i anteckningarna som i utvärderingen, att Rana varit mer drivande i arbetet och att Marcus ibland förlitat sig väl mycket till henne. Han var dock mycket aktiv under laborationerna och i förberedelserna inför den muntliga presentationen. Läraren går igenom gymnasiearbetet och rapporten med eleverna ordentligt i utvärderingen och Marcus får komplettera vissa delar muntligt för att läraren vill ha ett tydligare underlag för sitt betyg.

Utöver den muntliga utvärderingen svarar eleverna individuellt på en enkät om gymnasiearbetet. Ranas svar visar att hon är nöjd med sitt arbete, att hon haft höga ambitioner och är stolt över resultatet även om arbetsfördelningen blivit lite sned och de till exempel aldrig hann med att intervjua forskare och besöka universitetet. Hon har fått handledning och stöd av sin lärare vilket hon värderar högt.