

NOBEL  
PRIZE  
MUSEUM

FORSKAR-  
HJÄLPEN  
2024

Kvantpricks-  
jakten





# Innehåll

- 4 Vad är Forskarhjälpen?
- 6 Välkommen till Kvantpricksjakten
- 10 Viktiga datum och arbetsflöde
- 11 Globala målen och Kvantpricksjakten
- 14 Bakgrund till Kvantpricksjakten
- 30 Forskningsmetodik
- 33 Forskningsuppgiften
- 35 Undervisningstips, litteratur och länkar
- 37 Ordförklaringar och definitioner
- 40 Materiel och kemikalier– lärare
- 43 Laboration 1 – elev
- 46 Protokoll 1 – elev
- 48 Laboration 2 – elev
- 52 Protokoll 2 – elev

# Vad är Forskarhjälpen?

**SYFTET MED FORSKARHJÄLPEN** är att skolelever ska ges möjlighet att själva prova på och delta i ett riktigt forskningsprojekt. På så vis får eleverna djupare förståelse för hur forskning går till och forskarna får samtidigt hjälp med insamling av data. Förhoppningen är att vi tillsammans bidrar med en betydelsefull pusselbit i ett större forskningsprojekt. Forskarhjälpen leds av Nobelprismuseet och är finansierat av Stiftelsen för strategisk forskning.

För mer information om tidigare Forskarhjälpsprojekt, gå in på [forskarhjalpen.se/tidigareprojekt](https://forskarhjalpen.se/tidigareprojekt)

## Varför Forskarhjälpen?

Vi befinner oss i en tid av förändring. Förändringar medför i många fall förbättringar, men kan även innebära nya utmaningar. Vad behövs för att vi alla som lever idag och även kommande generationer ska kunna leva ett gott liv? Forskning är ett verktyg i vår strävan att nå dit. För att hitta nya lösningar behövs människor som är kreativa, uthålliga och som vill hitta sätt att ta sig an de utmaningar vi står inför idag och i framtiden. Vi behöver de som vågar tänka tankar ingen tidigare tänkt, gå dit ingen tidigare gått, enträget söker vidare där andra har gett upp och med fast beslutsamhet står fast vid sin övertygelse. Dessa människor är vår framtids hjältar – Forskarna.

I Forskarhjälpen får du tillsammans med dina elever vara aktören som med forskning som verktyg bidrar till en hållbar värld.

## Om lärarhandledningen

Denna lärarhandledning syftar till att presentera ett aktuellt forskningsområde för läraren samt sätta elevernas forskningsuppgifter i ett större sammanhang. I handledningen finns bakgrundsfakta om ämnesområdet, beskrivning av forskningstoppgifter samt nödvändiga protokoll för datainsamling och rapportering.



### **Dokument för nedladdning**

Dokument med denna symbol finns att ladda ner på [forskarhjalpen.se](https://forskarhjalpen.se)

# Välkommen till Kvantpricksjakten

Årets projekt, Kvantpricksjakten, behöver forskarna hjälp med att utveckla nya kolkvantprickar. Kolkvantprickar är ett relativt nytt nanomaterial baserat på kol som har flera fördelar jämfört med andra typer av kvantprickar. De är billiga, enkla att tillverka och har låg toxicitet. I detta projekt fokuserar vi på möjligheten att använda kolkvantprickar för att detektera tungmetaller i vatten.

Eleverna får tillverka egna kolkvantprickar enligt givna kriterier och utifrån egna kreativa idéer. Eleverna får sedan testa hur bra dessa kolkvantprickar fungerar för detektion av tungmetaller i vattenlösning.

Projektet genomförs tillsammans med Ken Welch vid Uppsala universitet. I år riktar sig projektet endast till elever i årskurs 9.

## Hur ska vi göra detta?

Projektet startar med en lärarkonferens den 24 maj där lärarna får träffa årets forskare och andra experter som tar oss in i nanovärlden och berättar om den teori som ligger till grund för Kvantpricksjakten. Den 9 augusti bjuds alla deltagande lärare in till en digital uppstartskonferens då forskaren berättar om projektet i en kortare version och visar hur laborationerna går till.

Vid dessa konferenser ges utrymme att tillsammans med nya ämneskollegor från olika delar i landet fundera kring projektets innehåll och upplägg, ställa frågor till forskarna och även till pedagogerna på Nobelprismuseet. Forskningsuppgifterna som ingår i projektet utförs i augusti/ september på de deltagande skolorna.

Eleverna tillverkar då kolkvantprickar för att sedan testa hur bra de är för att detektera tungmetaller i vatten. Elevernas lösningar av kolkvantprickar skickas till forskarna för vidare analys, vilka sedan gör en återkoppling till skolorna. Mot slutet av projektet tillverkar eleverna två och två en vetenskaplig poster där de beskriver sitt arbete, erhållna resultat samt presenterar sina slutsatser.

Nobelprismuseet anordnar en postertävling där en poster från varje deltagande skola tävlar. Den poster som väljs ut att representera skolan i tävlingen skickas digitalt till Nobelprismuseet. De två elever som skickar in en poster till postertävlingen deltar även i en digital posterpresentation i början av december. Eleverna får parvis presentera sitt arbete och ge åter-



Olika lösningar av kvantprickar som belyses med UV-ljus.

koppling på ett annat elevpars arbete. Posterpresentationerna sker i mindre grupper. Detaljerad information om postertävling och digitala presentationer kommer efter sommaren.

I postertävlingen bedömer fyra olika jurygrupper postrarna som skickas in utifrån följande perspektiv:

- *Helhetsperspektiv.* Vetenskapligt innehåll, grafisk form samt presentations-teknik beaktas. Denna jury består av tre till fyra vetenskapsjournalister. Vinnarna får tre biljetter till Nobelprisutdelningen 2024 samt 5 000 kr till klasskassan.
- *Vetenskapligt perspektiv.* Denna jury består av forskarna och Kasper Eliasson. Vinnarna får 5 000 kr till klasskassan samt ytterligare ett pris som meddelas senare.
- *Layout och design.* Denna jury består av Nobelprismuseets grafiska form-givare Josephine Öhrnlund. Vinnarna får 5 000 kr till klasskassan samt jobba en halvdag med Josephine.
- *Skolornas pris.* Denna jury består av alla deltagande skolor. Ni delar ut poäng till de postrar som ni tycker är bäst. Vinnarna får 5 000 kr till klasskassan samt ytterligare ett pris som meddelas senare.

Alla postrar som är med i postertävlingen visas på Nobelprismuseet i samband med avslutningskonferensen.

Projektet avslutas med en avslutningskonferens på Nobelprismuseet den 5 december. Till denna konferens välkomnas en lärare från varje skola och de två elever som deltagit i postertävlingen. Konferensen innehåller föreläsningar, resultatrapportering från forskarna samt andra inbjudna forskare och tillkännagivande av vinnare i postertävlingens olika kategorier.

Vi har startat en sluten Facebookgrupp för lärare som deltar i projektet Kvantpricksjakten. Syftet med denna grupp är att deltagande lärare och forskare ska kunna utbyta erfarenheter med varandra samt nå oss med frågor och kommentarer.

Forskarhjälpens är finansierad av Stiftelsen för Strategisk Forskning.

Med hopp om en stimulerande tid i Kvantpricksjakten och än en gång – välkomna!

Anna Ålander  
Paulina Wittung Åman  
Forskarhjälpens

#### **Arbetsgruppen i Kvantpricksjakten**

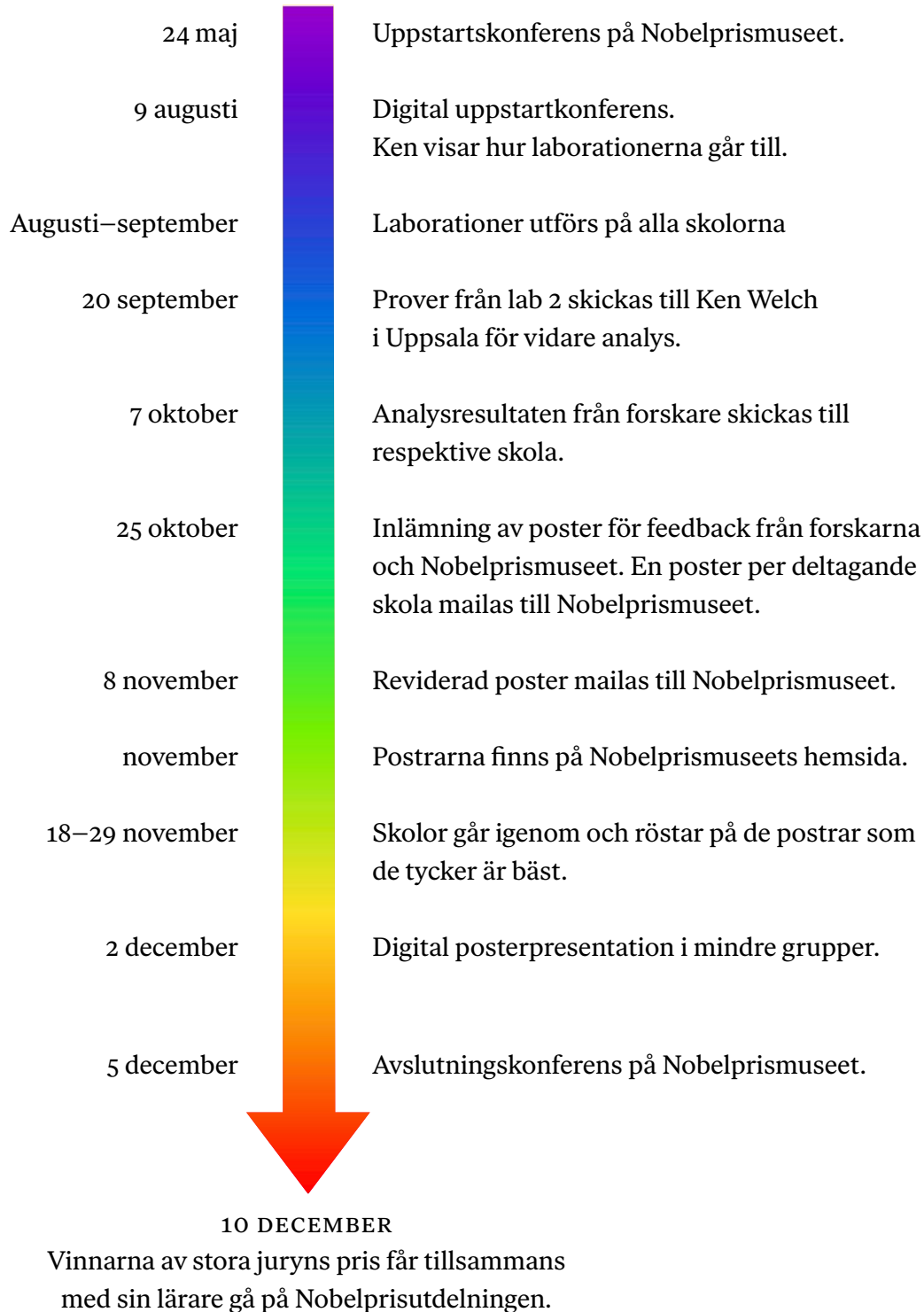
- *Maria Strømme*, professor vid Institution för materialvetenskap, Uppsala universitet.
- *Ken Welch*, professor vid Institution för materialvetenskap, Uppsala universitet.
- *Ulf Ellervik*, vetenskaplig rådgivare, professor bioorganisk kemi, Lunds universitet.
- *Anna Ålander*, projektledare och pedagogiskt ansvarig för Kvantpricksjakten, Nobelprismuseet.
- *Paulina Wittung Åman*, museilektor och pedagogiskt ansvarig för Kvantpricksjakten, Nobelprismuseet.





Kvantprickar lyser när de exponeras för ultraviolett ljus och visar fotoluminescerande egenskaper.

# Viktiga datum och arbetsflöde



# Globala målen och Kvantpricksjakten

År 2015 enades FN:s medlemsländer om Agenda 2030, en plan för hur vi ska uppnå en hållbar framtid. Agenda 2030 innehåller 17 Globala mål för hållbar utveckling, som i sin tur har 169 delmål. De Globala målen för hållbar utveckling är mätbara med drygt 230 globala indikatorer och ska uppnås till år 2030.

Agenda 2030 är den mest ambitiösa överenskommelse som världens länder enats om vad gäller arbete för en hållbar utveckling. De Globala målen omfattar alla: privatpersoner, näringsliv och regeringar i alla världens länder.

Världens länder har kommit överens om att vi fram till år 2030 ska

- avskaffa extrem fattigdom
- minska ojämlikheter och orättvisor i världen
- främja fred och rättvisa
- lösa klimatkrisen



Figur 1. De 17 Globala målen för hållbar utveckling.

## Hållbar utveckling

Hållbar utveckling innebär att vi ska fortsätta utveckla och utvecklas. Det innebär att vi idag och även kommande generationer ska ha möjlighet att leva ett gott liv. FN:s definition av hållbar utveckling från 1987 framtagen av Bruntlandkommissionen lyder:

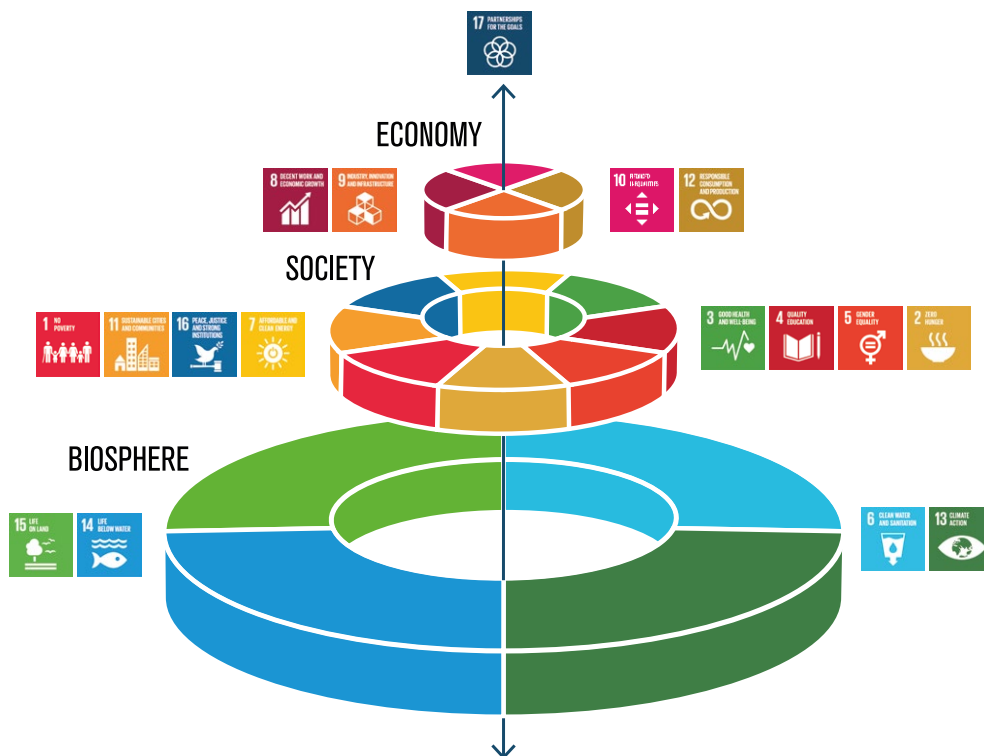
*Hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov.*

Hållbarhet innefattar ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet. Den ekologiska hållbarheten berör jordens ekologiska system, här ingår stabila klimatsystem, biologisk mångfald, rent vatten, ren luft. Att något är hållbart ekologiskt innebär att det är miljömässigt hållbart. Det kan vara avsaknad av bekämpningsmedel, frånvaro av konstbevattning, få eller inga utsläpp av växthusgaser vid odling eller annan produktion.

Social hållbarhet handlar om rättvisa, makt, välbefinnande, individens behov. I ett socialt hållbart samhälle har människor en god hälsa och lever ett gott liv. Att det är socialt hållbart innebär att alla människor i samhället är jämställda och jämlika, människor mår bra, kan uttrycka sina åsikter fritt och nå sin fulla potential.

Ekonomisk hållbarhet skiljer sig lite från de två andra dimensionerna då det är en del som vi människor har konstruerat. För att underlätta vår vardag har vi värderat varor och tjänster i ekonomiska termer. Ekonomisk hållbarhet kan ses som ekonomisk utveckling som sker utan att den har negativa konsekvenser på den ekologiska eller sociala hållbarheten.

En modell för att illustrera hållbarhetens tre dimensioner är den hierarkiska hållbarhetsmodellen, även kallad "tårtan" (figur 2). Här är den ekologiska hållbarheten basen för allt levande, därefter kommer den sociala hållbarheten och högst upp den ekonomiska. För att vi ska överleva och leva krävs att vi har stabila, resilienta hållbara ekologiska system – både på land och i vatten.



Figur 2. Den hierarkiska hållbarhetsmodellen där de Globala målen är identifierade och integrerade.

ILLUSTRATION: JERKER LOKRANTZ/AZOTE

Att utveckla metoder för att detektera tungmetaller i grundvatten, vattendrag, sjöar och hav har direkt betydelse för flera av FN:s globala mål för hållbar utveckling. Detta projekt fokuserar på mål 3, 6, 14, 15.

**Mål 3: God hälsa och välbefinnande.** Genom förbättrade detektionsmetoder av tungmetaller i vatten kan exponeringen för dessa skadliga ämnen minska, vilket i förlängningen leder till förbättrad hälsa och välbefinnande.

**Mål 6: Rent vatten och sanitet för alla.** Att säkerställa tillgång till och hållbar hantering av vatten och sanitet för alla är utgångspunkten för utvecklingen av förbättrad detektionsteknik av föroreningar i vatten. Tekniken spelar en avgörande roll för att säkerställa god vattenkvalitet, vilket kan möjliggöra förbättring av tillgången till rent dricksvatten.

**Mål 14: Hav och marina resurser.** Detektering, följt av ett avlägsnande av tungmetaller från vattendrag är avgörande både för bevarande och ett hållbart användande av hav, sjöar och marina resurser.

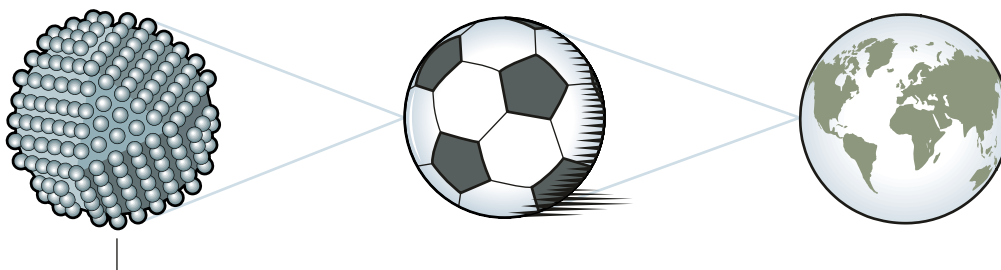
**Mål 15: Ekosystem och biologisk mångfald.** Att skydda, återställa och främja hållbar användning av grundvattenberoende ekosystem och sötvattens ekosystem förutsätter ett aktivt arbete med förbättrad detektering av vattenföroreningar, inklusive tungmetaller, på grund av deras negativa påverkan på den biologiska mångfalden på land.

# Bakgrund till Kvantpricksjakten

**N**obelpriset i kemi år 2023 belönades för ”upptäckten och utvecklingen av kvantprickar, nanopartiklar som är så små att storleken styr deras egenskaper”.

För att förstå kvantprickar och hur små de verkligen är, måste vi först fördjupa oss i nanoteknikens värld. Nanoteknik handlar om att medvetet ändra eller påverka materia på dess allra minsta nivå, det vill säga atomär och molekylär nivå, vanligtvis inom storleksintervallet 1 till 100 nanometer. En nanometer motsvarar en miljondels millimeter, eller  $10^{-9}$  meter. När objekt minskar i storlek och blir mindre än ungefär 100 nanometer börjar de uppvisa nya eller ändrade egenskaper. Dessa egenskaper är således storleksberoende och finns inte hos större objekt.

Nanopartiklar är samlingsnamnet för partiklar vars storlek ligger inom 1 till 100 nanometer. En kvantprick är en specifik typ av nanopartikel som är mindre än 10 nanometer i storlek och som därför bara innehåller några hundra till några tusen atomer. För att få en uppfattning om hur små kvantprickar är storleksmässigt, förhåller sig en kvantprick till en fotboll, som en fotboll förhåller sig till hela jorden, se figur 3. Begreppet ”nano” i detta sammanhang syftar på nanoskalan, det vill säga storleksskalan från 1 till 100 nanometer, medan ”kvant” i kvantprick refererar till kvanteffekter, som enbart uppkommer i materia på nano-storlek.



En kvantprick är en kristall som ofta bara består av några tusen atomer. Storleksmässigt förhåller den sig till en fotboll, som en fotboll förhåller sig till jorden.

### Figur 3

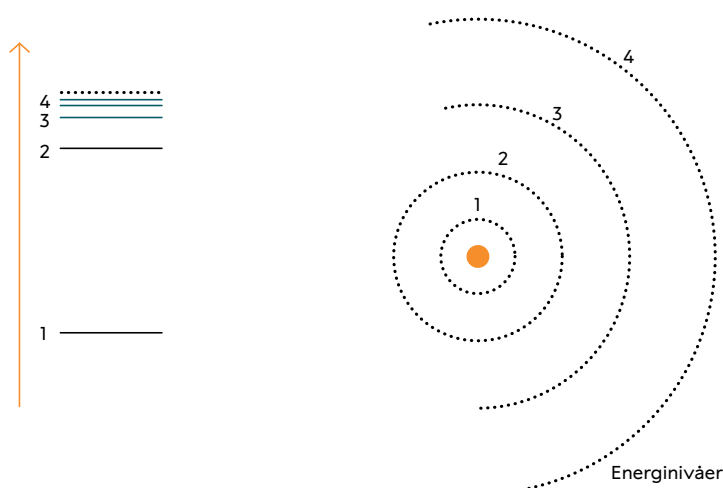
För att jämföra storlekar kan man placera en kvantprick bredvid en fotboll och en fotboll bredvid jorden, eftersom kvantpricken storleksmässigt förhåller sig till fotbollen, som fotbollen förhåller sig till jorden.

ILLUSTRATION: JOHAN JARNESTAD/KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN

Alla små partiklar är dock inte kvantprickar. Kvantprickar är speciella eftersom de kan ge ifrån sig ljus i olika färger när de själva utsätts för ljus. Färgen beror på storleken av kvantpricken – ju mindre kvantprick, desto blåare ljus; ju större kvantprick, desto rödare ljus. Denna egenskap hos kvantprickar kallas för kvanteffekt. För att förstå varför kvantprickar uppvisar kvanteffekter och hur dessa effekter kan användas, behöver vi förstå materiens elektroniska struktur och ljusets egenskaper.

## Materiens elektroniska struktur – energinivåer och band

En atom är uppbyggd av en positivt laddad kärna, omgiven av negativt laddade elektroner. Elektronerna har olika energinivåer beroende på avståndet från kärnan – ju längre från kärnan en elektron befinner sig, desto högre energinivå har den. Dessa energinivåer är diskreta. Det betyder att elektroner endast kan befinna sig på dessa specifika nivåer. Figur 4 visar en modell av en väteatom och de diskreta energinivåer som elektronen kan befinna sig på. Normalt befinner elektronen på den lägsta energinivån, det vill säga närmast kärnan. Om elektronen får extra energi, det vill säga om den exciteras, kan den hoppa upp till en högre energinivå.

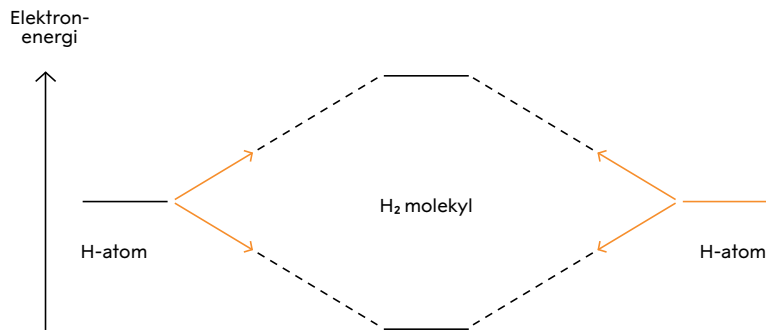


**Figur 4**

En modell av elektronerna i en atom och ett energidiagram för elektronernas energinivåer. Normalt befinner sig elektronen närmast kärnan. Endast när elektronen exciteras kan den hoppa upp till en högre energinivå.

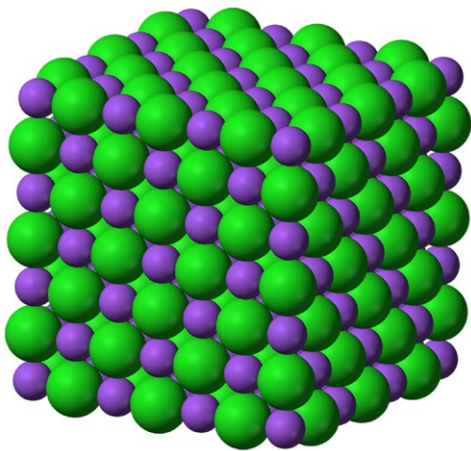


När atomer kommer nära varandra och bildar en molekyl, uppkommer nya energinivåer på grund av en växelverkan mellan elektronerna i de olika atomerna. Figur 5 visar energinivåerna för två väteatomer och en H<sub>2</sub>-molekyl. När de två väteatomerna tillsammans bildar en H<sub>2</sub>-molekyl, uppkommer två nya energinivåer; en som är lägre och en som är högre än den ursprungliga energinivån i de två respektive väteatomerna.



**Figur 5**  
Energidiagrammet visar hur energinivån i två väteatomer bildar två nya energinivåer i en H<sub>2</sub>-molekyl.

När flera atomer bildar ett fast material kan de ge upphov till en kristall. En kristall består av en välordnad struktur av atomer, ungefär som i figur 6. När många atomer befinner sig nära varandra, som i en kristall, påverkar deras elektroner varandra. Då bildas *band* av energi istället för de diskreta energinivåer som finns i enskilda atomer eller molekyler. Dessa band är energiintervaller som elektronerna i kristallens enskilda atomer kan befinna sig i. De två viktigaste energibandet är *valens-* och *ledningsband*.



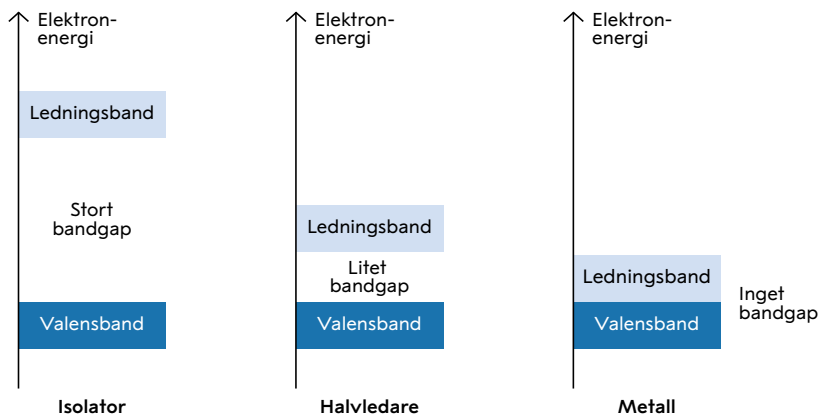
**Figur 6**  
Kristallstruktur av bordssalt. Natriumklorid: natrium i lila och klor i grönt.  
KÄLLA: WIKIPEDIA.ORG



## De två viktigaste energibanden: valens- och ledningsband

De två viktigaste energibanderna i en kristall är valens- och ledningsband, se figur 7. Valensband är det energiband elektronerna vanligen befinner sig i, medan ledningsband är ett band med högre energi, där elektronerna kan röra sig fritt och därmed leda elektricitet. Mellan valens- och ledningsband finns ett energiintervall som kallas *bandgap* där elektroner inte får vara. Detta kallas ibland för det förbjudna bandgapet. Bandgapet är olika stort för olika typer av ämnen. En isolator, till exempel glas, är bandgapet så stort att elektronerna normalt inte kan hoppa mellan valens- och ledningsband. Därför sitter elektronerna fast i valensbandet och kan inte leda elektricitet.

I en metall, å andra sidan, överlappar valens- och ledningsbanden varandra och därför finns det inget bandgap. Det gör att elektronerna i en metall leder elektricitet. Halvledare har ett mindre bandgap än vad isolatorer har. Elektroner i halvledare kan därför under vissa förhållanden, som när energi tillförs i form av värme eller ljus, hoppa från valens- till ledningsbandet. Det gör att halvledare, till exempel kisel, kan leda elektricitet under rätt förhållanden. Denna unika egenskap gör halvledare mycket viktiga inom elektronik, till exempel i en smartphone eller dator, där man vill kunna styra när och hur elektriciteten flödar.



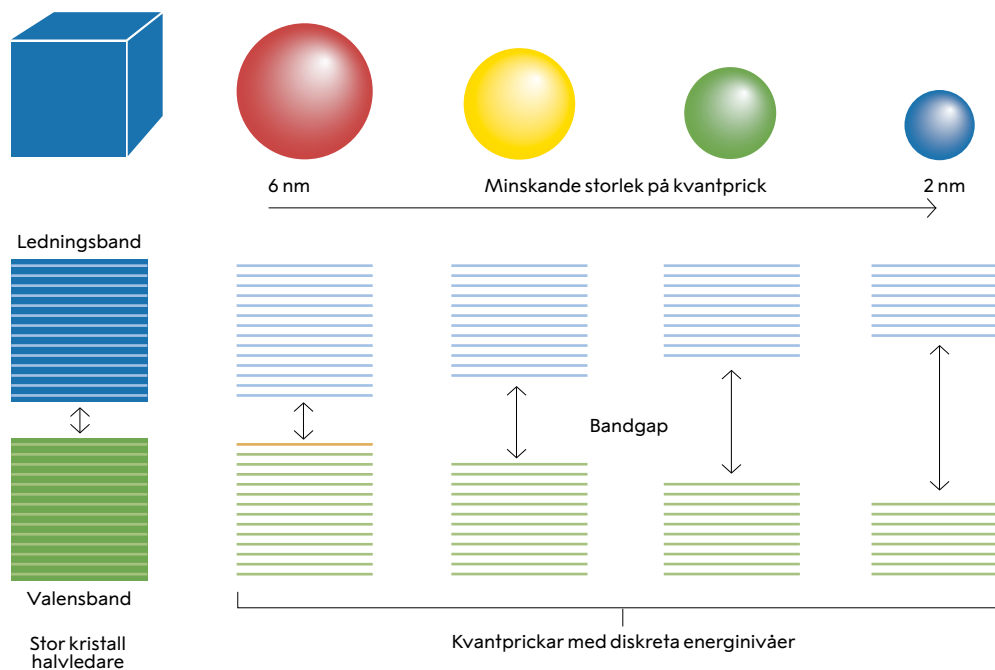
**Figur 7**

Elektronisk bandstruktur i en kristall. Elektronerna befinner sig normalt i valensbandet. Om tillräckligt mycket energi tillförs elektronerna kan de hoppa från valens- till ledningsband där de kan leda elektricitet.

I en isolator är bandgapet stort och därför leder en isolator elektricitet dåligt. I en metall finns inget bandgap. Därför kan elektronerna röra sig fritt igenom kristallen och leda elektricitet.

## Elektroner i kvantprickar – kvantfinneslutning

En kvantprick är uppbyggd av en kristall bestående av halvledarmaterial. Men eftersom kvantprickar enbart består av några hundra till några tusen atomer ligger deras elektroniska struktur någonstans mittemellan en molekyl och en kristall. Det innebär att elektronerna inte är tvungna att befinna sig i de specifika energinivåerna som finns i en atom eller en molekyl, men inte heller i de breda energiband som finns i en stor kristall. I stället är elektronerna i kvantprickar inneslutna i diskreta tillstånd som liknar de i en atom, samtidigt som det finns ett förbjudet bandgap likt det i en metall. Denna inneslutning av elektroner är en kvanteffekt, som kallas *kvantfinneslutning* och som ger upphov till kvantprickarnas speciella egenskaper. Figur 8 visar hur kvantfinneslutning kan påverka bandgapet i kvantprickar av olika storlek, jämfört med en stor kristall uppbyggd av samma halvledarmaterial.



**Figur 8**

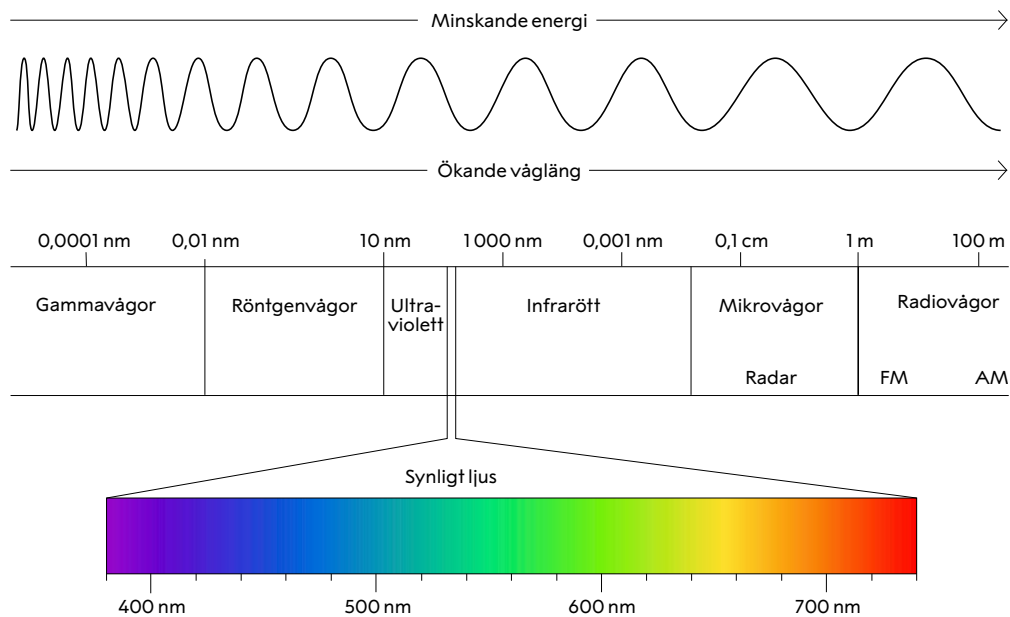
Bandgapets storlek som funktion av kvantprickens storlek. Kvantfinneslutning leder till ett större bandgap hos en mindre kvantprick. Kvantprickar har diskreta energinivåer som en molekyl, men ett bandgap som en stor kristall av halvledarmaterial.

När elektroner flyttas mellan olika energinivåer tillförs eller frigörs energi. Energi krävs för att en elektron ska hoppa upp till en högre energinivå i en atom, eller för att hoppa från valens- till ledningsbandet i en halvledare. Energi kan tillföras genom värme eller ljus. När en elektron hoppar tillbaka till sin ursprungliga energinivå frigörs energi, ofta i form av värme eller ljus. Interaktionen mellan ljus och kvantprickar är speciellt intressant men för att förstå dessa interaktioner behöver vi först diskutera grunderna i det elektromagnetiska spektrumet.

## Det elektromagnetiska spektrumet

Elektromagnetisk strålning är en form av energi som sprids och transporteras genom vågor. Dessa vågor skiljer sig åt i våglängd och frekvens, vilket bestämmer deras olika egenskaper och användningsområden. Föreställ dig elektromagnetisk strålning som vågor på havet; vissa vågor är korta och snabba, medan andra är långa och långsamma, men alla rör sig och kan bära energi från en plats till en annan. Det elektromagnetiska spektrumet omfattar alla typer av elektromagnetisk strålning, från de kortaste våglängderna röntgen- och gammastrålar, till de längsta som används vid radiokommunikation, se figur 9.

Synligt ljus, som det mänskliga ögat kan uppfatta, upptar bara en liten del av det elektromagnetiska spektrumet, det mellan infraröd och ultraviolett strålning. Varje färg av synligt ljus motsvarar en specifik våglängd, där rött ljus har en längre våglängd än blått ljus. Kortare våglängd innebär att strålningen har högre energi, det vill säga blått ljus har högre energi än rött ljus. Ultraviolett ljus har kortare våglängd än synligt ljus och därmed ännu högre energi. Infraröd strålning (det vill säga värme) har längre våglängd än synligt ljus och därmed ännu mindre energi. Alla heta föremål avger infraröd strålning. Mikrovågor har ännu längre våglängder och därmed lägre energi. I mikrovågsdelen av det elektromagnetiska spektrumet återfinns inte bara mikrovågor som används i mikrovågsugnar, utan även mikrovågor som används av våra mobiltelefoner, det vill säga 4G- och 5G-signaler.

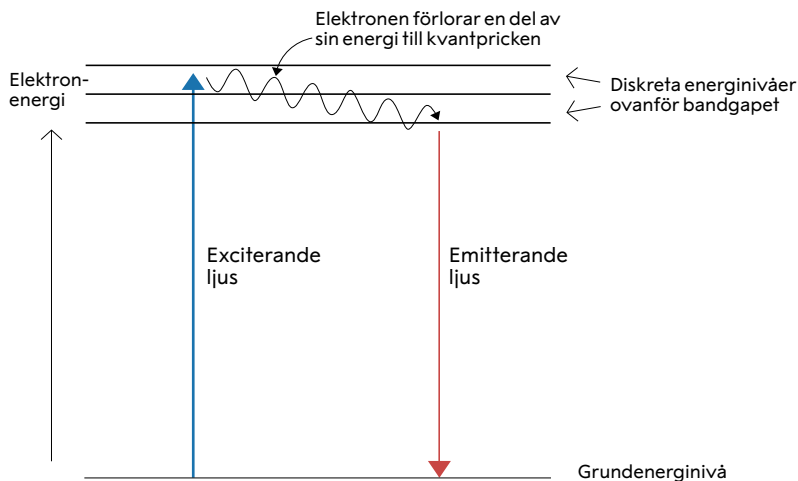


**Figur 9**  
 Det elektromagnetiska spektrumet omfattar alla typer av elektromagnetisk strålning. Synligt ljus, som det mänskliga ögat kan uppfatta, upptar bara en liten del av spektrumet, och varje färg av synligt ljus motsvarar en specifik våglängd.

## Fotoluminescens

Ljus är en form av energi och kan därför påverka materia på olika sätt. Till exempel kan ljus överföras, som när ljus passerar genom ett fönster. Ljus kan också reflekteras eller spridas, som när en spegel reflekterar ljus, eller som när de små vattendropparna som dimma består av sprider ljuset från en bils strålkastare. Ljus kan också absorberas; tänk på hur solen värmer huden en sommardag. Värmen du känner är energi från solljuset, som omvandlas till värme i din hud.

När ljuset absorberas i materia exciteras elektronerna till högre energinivåer. Men elektronerna kan inte vara exciterade för alltid. Till slut återgår de till sina ursprungliga energinivåer. När detta sker, frigörs den energi elektronerna tidigare absorberat från ljuset. Ett sätt att frigöra energi är genom vibrationer i materia, något som ger värme såsom i exemplet ovan när solen värmer din hud. Ett annat sätt att frigöra energi är att återge, emittera, ljus i en längre våglängd, en process som kallas *fotoluminescens*. Denna process visas schematiskt i figur 10. Ljuset som emitteras har en längre våglängd, och därmed lägre energi, än det ljus som ursprungligen exciterade elektronen. När elektronen faller ner mot den övre begränsningen av bandgapet förlorar den en del av sin energi genom vibrationer i materialet, som omvandlas till värme.

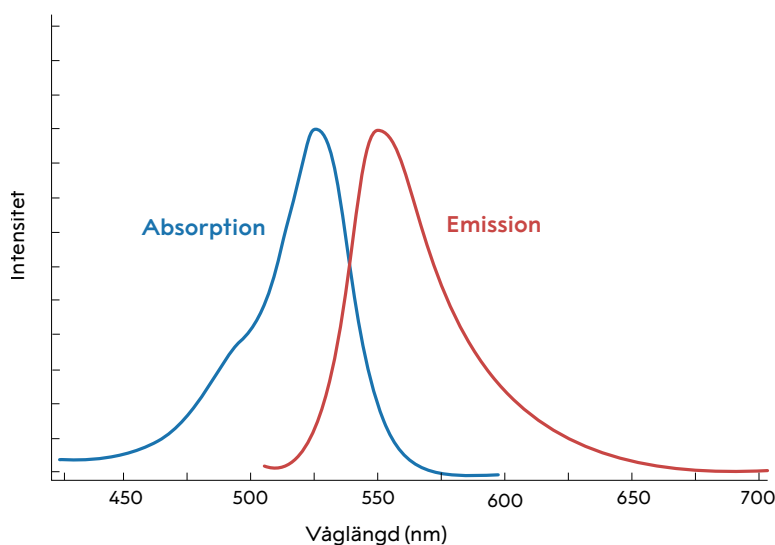


**Figur 10**

Processen med fotoluminescens i en kvantprick visar hur en elektron exciterad till en högre energinivå av blått ljus i ett senare skede emitterar rött ljus när elektronen återgår till sitt ursprungliga energitillstånd.

Om processen för fotoluminescens sker snabbt, kallas det *fluorescens*. Om materialets elektroner istället kvarstår i ett exciterat tillstånd under en längre tid, allt från millisekunder till flera timmar, kallas det *fosforescens*.

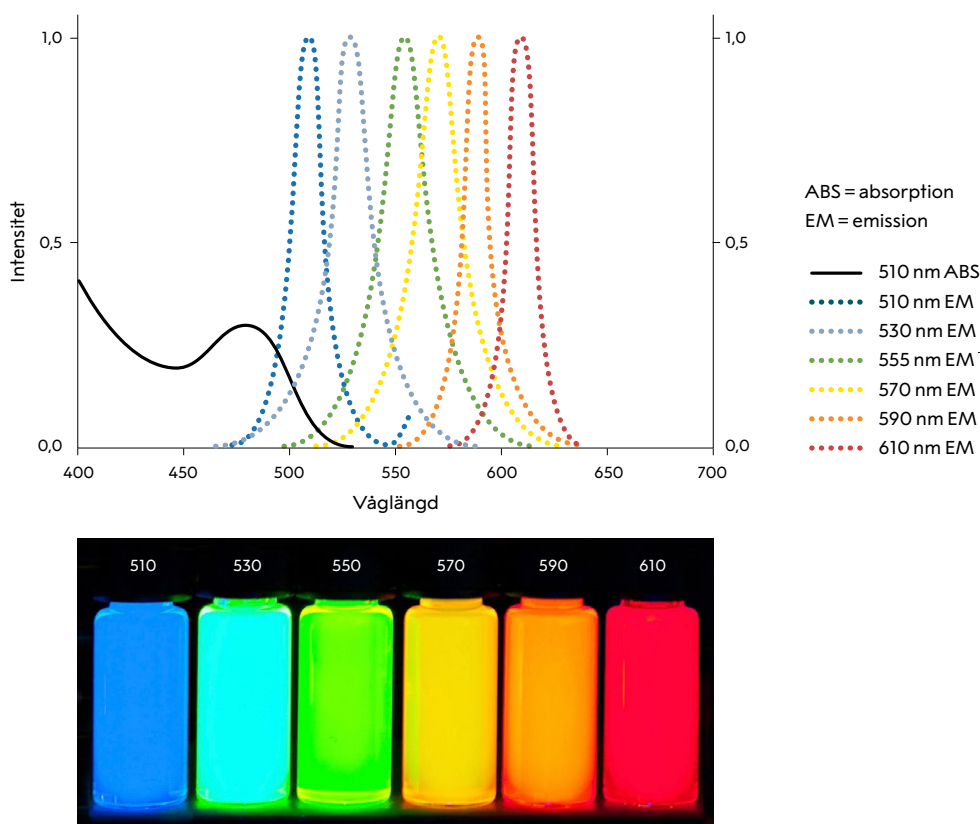
En självlysande dekal är ett exempel på ett fosforescerande material. Figur 11 visar en kurva över absorptions- och emissionspektrum för en typisk fluorescerande molekyl. Absorptionspektrumet visar intensiteten av de ljusvåglängder som molekylen kan absorbera, det vill säga de ljusvåglängder som kan excitera elektroner i molekylen till högre diskreta energinivåer. Av figur 11 framgår att ljus med en våglängd på 525 nm absorberas bäst, men att molekylen kan absorbera ljus med våglängder från omkring 420 nm upp till 575 nm. Bästa emission sker vid en våglängd av ljuset på cirka 550 nm, även om molekylen kan emittera ljus med våglängder från 500 nm till 700 nm.



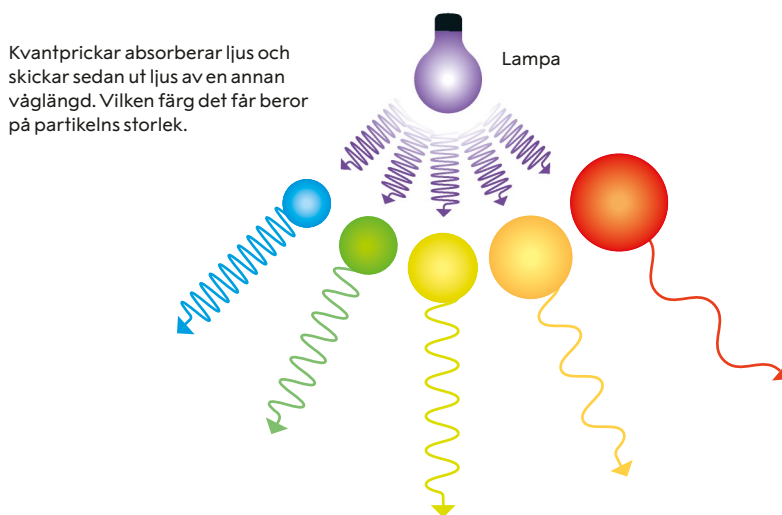
**Figur 11**

Intensitet av exciterande och emitterade ljus i en fluorescerande molekyl.

Fotoluminescensprocessen för en kvantprick liknar den som sker i den fluorescerande molekylerna ovan. Men kvantprickar har ett bandgap som gör att våglängderna av ljuset som emitteras har ett smalare intervall jämfört med den fluorescerande molekylerna i figur 11. I figur 12 ser vi att ett mycket brett område av ljusets våglängder kan absorberas av kvantprickar, men det ljus som kvantprickar emitterar har ett smalt intervall av våglängder. Detta intervall beror dessutom av storleken på den enskilda kvantpricken. Denna egenskap hos kvantprickar, som gör att den emitterande färgen beror av storleken på kvantpricken, ger kvantprickar fler möjliga tillämpningsområden än traditionella halvledarmaterial, eftersom de senare bara kan lysa i en färg.



**Figur 12**  
Absorptionsspektrum och emissionsspektra för kvantprickar av olika storlek. Blå kvantprickar har en diameter på 2,7 nm och röda kvantprickar en diameter på 5 nm.



**Figur 13**  
Schematisk bild av fotoluminescensprocessen hos kvantprickar och relationen mellan storlek på kvantpricka och den våglängd på ljuset de emitterar.

ILLUSTRATION: JOHAN JARNESTAD/KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN

## Kolkvantprickar

Kvantprickar är uppbyggda av halvledare som kadmiumselenid (CdSe), indiumarsenid (InAs) eller blysvulfid (PbS). Även om kvantprickar har visat sig ha många tillämpningsområden, finns risker med tekniken, detta eftersom många typer av kvantprickar innehåller tungmetaller som bly, kadmium och arsenik, vilka kan vara skadliga för både människor och miljö.

Kolkvantprickar, även kända som kolprickar, är ett alternativ till traditionella kvantprickar. De kan användas när man vill undvika tungmetaller, till exempel vid olika tillämpningar inom medicin eller miljö. Kolkvantprickar uppvisar liknande storleksberoende egenskaper som traditionella halvledarkvantprickar, men består nästan helt av kol. Ibland väljer man att fästa andra grundämnen än kol, till exempel kväve, svavel, fosfor eller bor på kolkvantprickarnas yta för att förbättra eller anpassa deras optiska egenskaper (det vill säga deras fotoluminescens). Förklaringen till att dessa ämnen förbättrar de optiska egenskaperna är inte helt känd och därmed ett pågående forskningsområde. En möjlig förklaring är dock att dessa atomslag tillför extra energinivåer till elektronerna i kolkvantprickarna. Det påminner om det som sker när kväve- eller fosforatomer tillsätts till en halvledare för att kontrollera halvledarens förmåga att leda elektricitet (så kallad dopning).

De viktigaste skillnaderna mellan kvantprickar och kolkvantprickar kan sammanfattas på följande vis:

**Sammansättning:** Kvantprickar är gjorda av halvledare som kadmiumselenid (CdSe), indiumarsenid (InAs) och blysvlfid (PbS), medan kolkvantprickar huvudsakligen består av kol.

**Tillämpningar:** Båda har tillämpningsmöjligheter inom medicinsk utbildning, elektronik och sensorer. Traditionella kvantprickar innehåller ofta tungmetaller, vilket gör dem olämpliga för vissa tillämpningar inom medicin och miljö. Kolkvantprickar anses vara mer miljövänliga och biokompatibla på grund av deras sammansättning.

## Tillverkning av kvantprickar och kolkvantprickar

Det finns flera metoder för att tillverka traditionella halvledarkvantprickar, men den vanligaste metoden är kolloidalsyntes. En kolloid är en blandning där mycket små partiklar är finfördelade i en annan substans. De små partiklarna har en storlek mellan 1 nanometer och 1 mikrometer. Den kolloidala syntesen kan jämföras med matlagning. Ingredienserna som behövs för att göra kvantprickar läggs i en vätska som sedan värms upp. Till en början bildas små kristaller som fortsätter att växa så länge lösningen värms upp. När den önskade storleken på kvantprickarna har uppnåtts stoppas reaktionen genom att lösningen kyls ned eller genom att kemikalier tillsätts.

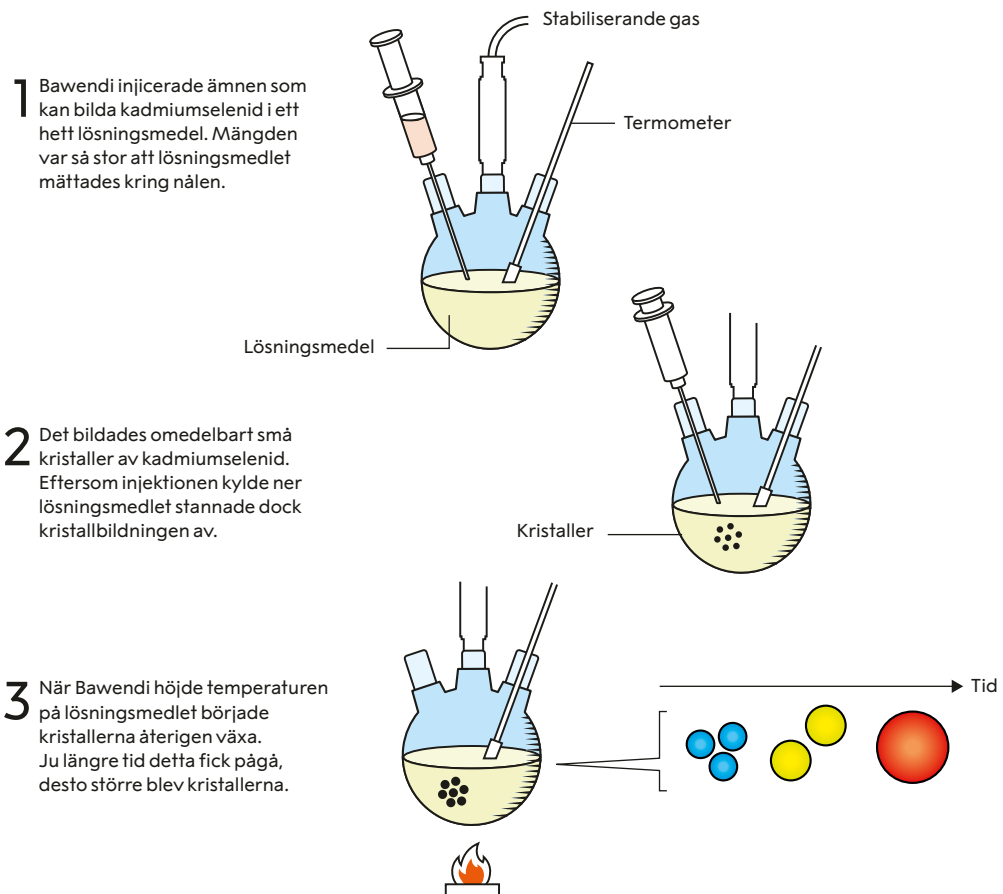
Färgen på lösningen visar när önskad storlek är uppnådd. Denna metod utarbetades av Mounqi G. Bawendi och belönades med Nobelpriset i kemi 2023. Figur 14 visar en schematisk beskrivning av Bawendis metod för kolloidalsyntes.

Kolkvantprickar kan också tillverkas med flera andra metoder. En vanlig metod är hydrotermisk syntes, som innebär att ett kolbaserat material värms upp i vatten under högt tryck. Metoden kan liknas vid att använda en tryckkokare för att skynda på matlagningen. En annan teknik är elektrokemisk syntes, där elektricitet används för att bryta ner ett kolbaserat material till kolkvantprickar. Metoden kan beskrivas som att använda elektrisk ström för att skära ut små, glödande prickar ur större kolbitar.

Ett enkelt och billigt sätt att tillverka kolkvantprickar är mikrovågs-assisterad syntes. Tillvägagångssättet går ut på att värma specifika kolrika material i en mikrovågsugn. När blandningen värms sker en reaktion som bryter ner de kolrika ämnena till små nanometerstora partiklar – kolkvantprickar. Uppvärmningen i mikrovågsugnen påskyndar syntesen, vilket gör att



## Så tillverkade Mounji G. Bawendi kvantprickar



**Figur 14**  
Kolloidalsyntes av traditionella halvledarkvantprickar.  
Metoden utarbetades av Mounji G. Bawendi.

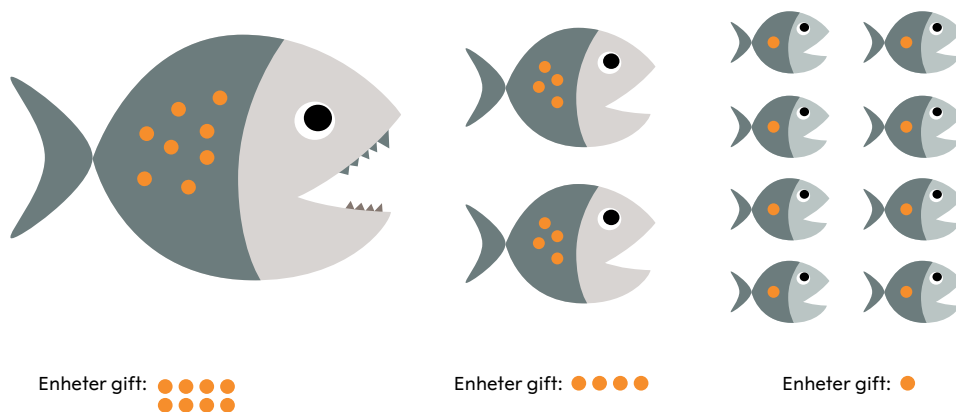
ILLUSTRATION: JOHAN JARNESTAD/KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN

den sker på bara några minuter, vilket är påtagligt snabbare än andra metoder, som exempelvis hydrotermisk syntes. Mikrovågorna i en mikrovågsugn har en våglängd på cirka 12 cm, vilket är en optimal våglängd för att excitera vattenmolekyler. Anledningen till att enbart vattenmolekyler exciteras är att vattenmolekyler är polära. Det betyder att de har en positiv och en negativ ände, motsvarande en magnets poler. Det får vattenmolekylerna att svänga fram och tillbaka i takt med mikrovågsstrålningen. När de stöter på närliggande molekyler blir lösningen varm, vilket påskyndar reaktionen som bildar kolkvantprickar.

## Tungmetaller i vatten

Förekomst av tungmetaller i vatten, inte minst i grund- och dricksvatten, utgör ett betydande miljö- och hälsoproblem för människor och djur på grund av ämnens toxicitet, långsamma nedbrytning och förmåga att ackumuleras i levande organismer. Industriella processer, gruvdrift och jordbruk bidrar till utsläpp av tungmetaller i vattendrag. Jordbruk bidrar till förorening med tungmetaller då tungmetaller förekommer som spårämnen eller föroreningar i konstgödsel och bekämpningsmedel. När konstgödsel och bekämpningsmedel används i jordbruket ansamlas tungmetaller i jorden och kan därefter ta sig vidare ut i grundvattnet. Förekomst av tungmetaller påverkar även vattenlevande organismer negativt, minskar den biologiska mångfalden förändrar balansen i ekosystemen. Även låga koncentrationer av tungmetaller utgör problem på grund av bioackumulering i näringskedjan.

Bioackumulering är en process där giftiga ämnen ansamlas i levande organismer över tid. Det sker genom att organismer tar upp vissa toxiska ämnen från vatten eller föda och kan sedan inte eliminera dem i samma takt som de intas. I stället lagras ämnena i organismens vävnader och organ, vilket leder till att koncentrationen av dessa ämnen ökar ju högre upp i näringskedjan organismen befinner sig, se figur 15.



**Figur 15**

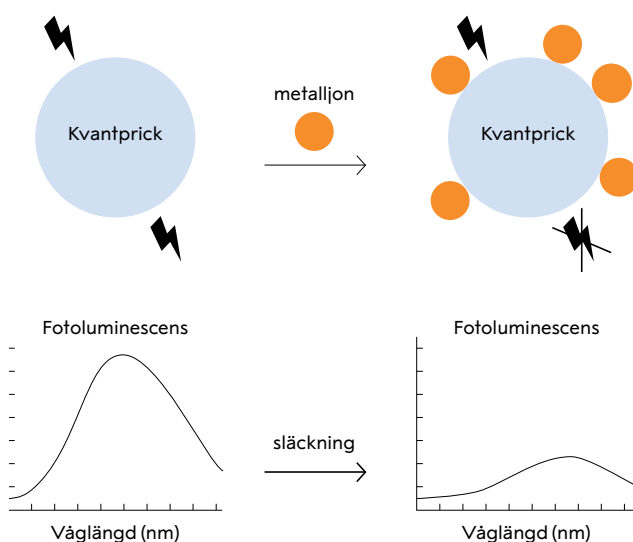
Bioackumulering av tungmetaller. Tungmetaller bryts inte ned. Istället ackumuleras de över tid och påverkar levande organismer.

## Detektion av tungmetaller med kolkvantprickar

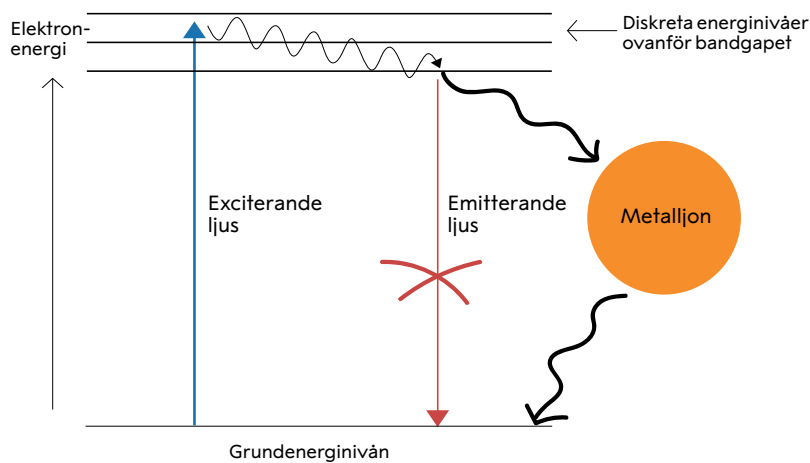
Traditionella metoder för detektering av tungmetaller i vatten innebär ofta dyra och tidskrävande processer som kräver specialutrustning och kunnig personal. Prover måste först samlas in och därefter transporteras till ett laboratorium för analys. Kolkvantprickar erbjuder en möjlig lösning på dessa utmaningar genom deras unika optiska egenskaper. Kolkvantprickar kan användas för att detektera tungmetaller genom vad som kallas *fotoluminescenssläckning*. Som tidigare beskrivits är fotoluminescens en process där ett material absorberar ljus för att sedan emittera ljus vid en längre våglängd, det vill säga det fenomen som får kolkvantprickar att lysa under vissa förhållanden. Fotoluminescenssläckning är en process som minskar eller helt stänger av det emitterade ljusflödet från kolkvantpricken.

När en metalljon i en lösning binder till en kolkvantprick kan metalljonen absorbera energi från den exciterade elektronen så att den kan återta sin ursprungliga energinivå utan att emittera ljus, se figur 16 och 17. Detta är vad som menas med fotoluminescenssläckning.

Närvaron av tungmetaller leder därmed till en minskning av fotoluminescensintensiteten för kolkvantprickar. Graden av släckning är ofta direkt proportionell mot koncentrationen av tungmetaller, vilket gör det möjligt att både upptäcka (detektera) och kvantifiera (ta reda på hur mycket av) en tungmetall ett vattenprov innehåller.



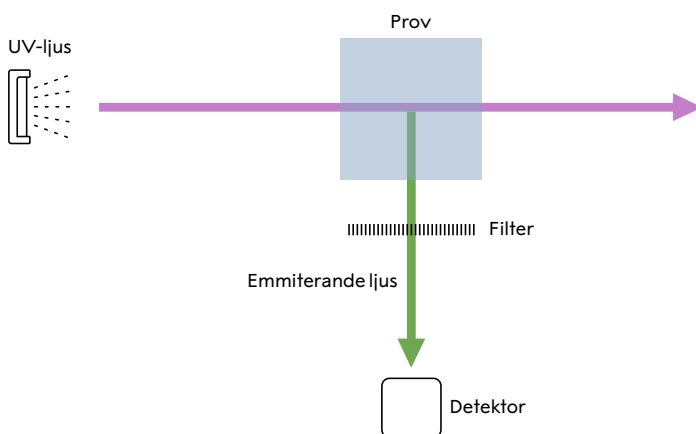
**Figur 16**  
Fotoluminescenssläckning. När metalljoner binder sig till kvantpricken så minskar fotoluminescensen.



**Figur 17**

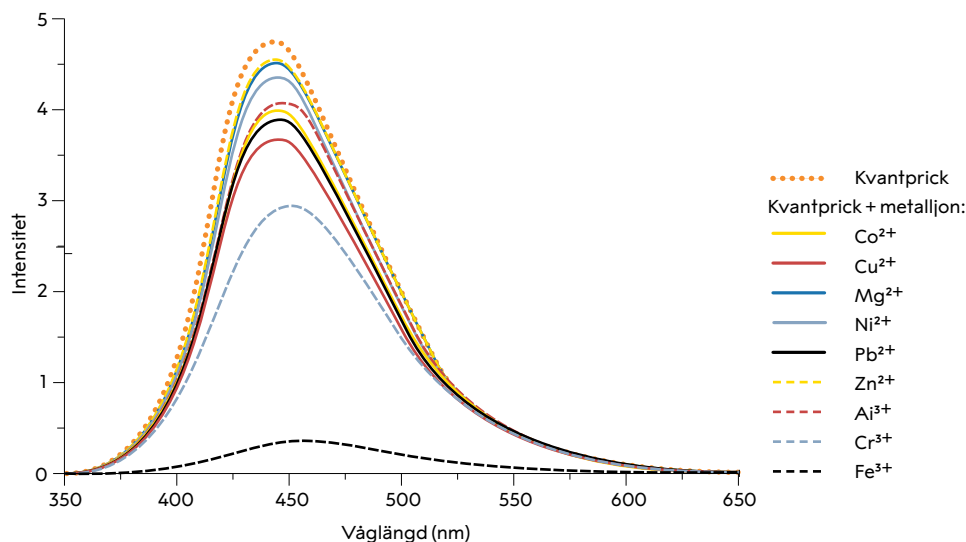
Energidiagram för fotoluminescenssläckning. Istället för att emittera ljus, absorberas energin från den exciterade elektronen av metalljonen så att elektronen kan återgå till sin ursprungliga energinivå.

I ett typiskt scenario blandas vattenprover som misstänks innehålla tungmetaller med en lösning av kolkvantprickar. Lösningen exponeras sedan för UV-ljus och intensiteten av fotoluminescensen mäts. Det görs med en fluorescens-spektrometer, som mäter det emitterade ljusets intensitet som en funktion av våglängden, se figur 18. En jämförelse görs sedan mellan fotoluminescensintensiteten för den rena kolkvantprickslösningen och testlösningen. En minskning av intensiteten indikerar närvaro av tungmetaller. Vanligtvis är vi mest intresserade av att mäta förändringen i intensitet hos det emitterade ljuset. För detta ändamål kan en enklare utrustning användas som enbart mäter intensiteten av det emitterade ljuset och inte ljusets våglängd. Denna typ av utrustning kan användas för mätningar i fält.



**Figur 18**

Figuren visar en schematisk bild på en fluorescensspektrometer. UV-ljuset exciterar provet, intensiteten och våglängden av det emitterade ljuset (fotoluminescens) mäts i en detektor. Ett filter tar bort eventuellt spridda UV-ljus.



**Figur 19**  
En kurva över den fotoluminescerande släckningen av kolkvantprickar i närvaro av olika tungmetalljoner i en vattenlösning.

ANPASSAD FRÅN VERVALD ET AL., J PHYSICAL CHEM C, 2023, 127, 21617-21628.

Figur 19 visar intensiteten av fotoluminescens från flera prover innehållande kvantprickar och olika metalljoner, samt ett prov med enbart kolkvantprickar. Proverna innehållande olika metalljoner emitterar ljus av lägre intensitet än det prov som enbart innehåller kolkvantprickar. Figuren visar även att vissa metalljoner är bättre än andra på att "släcka" det emitterade ljuset. Optimalt vore att kunna tillverka olika kolkvantprickar som var för sig endast kan släckas av specifika metaller. Detta skulle öka selektiviteten av detektionstekniken, dvs möjligheten att särskilja förekomst av olika metaller i vattenprover. Forskare arbetar för närvarande med att försöka lösa detta problem.

## Framåtblick

Även om möjligheten att använda kolkvantprickar för att detektera tungmetaller erbjuder flera fördelar, inklusive möjligheten till billig och portabel mätning i direkt i fält och möjligheten att upptäcka låga nivåer av tungmetaller, finns det fortfarande metodologiska utmaningar. En sådan viktig utmaning är att försöka förbättra selektiviteten av kolkvantprickar för detektion av specifika tungmetaller och samtidigt minimera störningar från andra ämnen i vattnet, såsom löst organiskt material som är fluorescerande.

Genom Kvantpricksjakten hoppas vi kunna öka förståelsen för kvanteffekter, som fotoluminescenssläckning. Med ökad kunskap och förståelse hoppas vi kunna utveckla nya sätt att upptäcka, mäta och kvantifiera tungmetallföreningar i vatten.

# Forskningsmetodik

## Frågeställningar/problem

**MARIA OCH KEN**

Den frågeställning som detta projekt utgår ifrån är om det är möjligt för oss att skapa nya nanomaterial som kan användas för att detektera föroreningar i vår miljö?

Vår hypotes är att det är möjligt och att kolkvantprickar är väl lämpade att användas för att detektera och identifiera små mängder av tungmetaller i vatten i vår miljö. Anledningen till detta är att kolkvantprickar är vattenlösliga, har låg toxicitet, och speciella optiska egenskaper (dvs de är fotoluminescerande).

Men problemet är att vår kunskap om vilka organiska föreningar som kan användas för att skapa kolkvantprickar med förmåga att detektera föroreningar som tungmetaller i vatten är begränsad. Med projektet hoppas vi öka kunskapen om detta genom att studera och testa flera nya kombinationer av organiska föreningar.

### **Vad ska eleverna göra och sedan undersöka?**

Vi behöver elevernas hjälp för undersöka vilka kombinationer av organiska föreningar som kan skapa kolkvantprickar, samt om dessa partiklar kan användas för att detektera tungmetaller i vatten. Genom att tillverka nya kolkvantprickar och vidarebefordra dessa till forskarna kommer projektet att bidra till ökad kunskap om och förståelse för kolkvantprickar.

## Tillverkning av nya kolkvantprickar och samling av data

**ELEVER – SEPTEMBER**

För att få svar på vilka organiska föreningar och kombination av dessa som kan skapa kolkvantprickarna med kapacitet att detektera tungmetaller i vatten, kommer eleverna att tillverka nya kolkvantprickar, både med ett urval av ingredienser som forskarna bestämmer, men även med ingredienser som läraren/eleverna får vara med att välja. Forskarna ger stöd och vägledning i valet av ämnen som kan vara lämpliga att prova. Kopparjoner och järnjoner

kommer att fungera som en modell för tungmetaller när detekteringsförmågan hos de syntetiserade kolkvantprickarna testas. När experimenten utförs är det viktigt att laboratorieprotokollen följs noggrant. Detta är viktigt för att säkerställa att experimenten kan upprepas av olika personer med samma resultat. De tillverkade kolkvantprickarna och laboratorieprotokollet kommer därefter att vidarebefordras till forskarna.

## Resultat och analys

**MARIA OCH KEN – 23 SEPTEMBER–6 OKTOBER**

Forskare hjälper till att tolka och analysera data från elevernas experiment. De prover på kolkvantprickar som eleverna skickar in till forskarna kommer att analyseras med hjälp av en fluorescens spektrometer, med vars hjälp partiklarnas fotoluminescerande egenskaper kommer att bestämmas. Resultaten från denna analys avgör om och hur väl partiklarna kan detektera tungmetalljoner i en vattenlösning. Resultaten och tolkningen av dessa kommer att skickas tillbaka till eleverna för att användas när de färdigställer sina postrar.

## Slutsats och vidare funderingar

**ELEVER, MARIA OCH KEN**

**AVSLUTNINGSKONFERENS 5 DECEMBER**

Har ni under projektet lyckats skapa kolkvantprickar, och har dessa partiklar förmåga att detektera kopparjoner i vatten?

Har ni under projektet fått ökad förståelse för vilka material eller kombinationer av material som är bäst lämpade att använda för att skapa kolkvantprickar, speciellt partiklar som har förmåga att identifiera eller detektera tungmetaller i vatten?

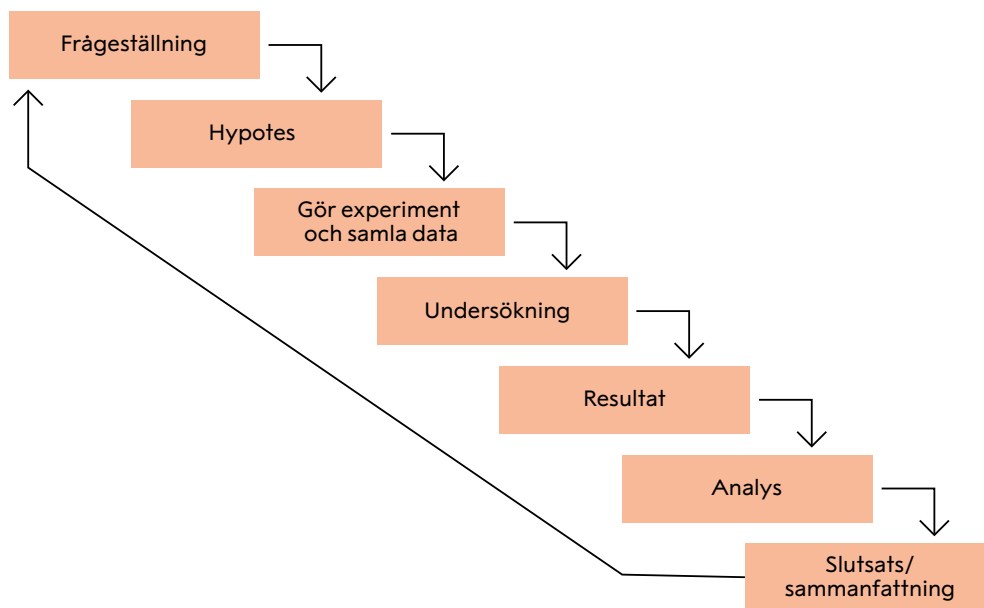
Har tolkningen av era resultat gett upphov till nya frågeställningar? Har ni fått nya idéer om vilka experiments som ni skulle kunna utföras framöver, som en uppföljning till projektet för att skapa ny kunskap och förståelse inom området?

Slutsatsen ska vara kort och tydligt kopplade till projektets frågeställning/frågeställningar.

## Sprida kunskap

### ELEVER, MARIA OCH KEN

Eleverna visar och presenterar sina postrar på skolan, Nobelprismuseet och i andra sociala sammanhang. Pressmeddelande till lokaltidningar och/eller lokalradio som efter eventuell överenskommelse kan delta i klassrummet. Forskarna kommer att skriva en vetenskaplig artikel och presentera resultaten från projektet både i form av föreläsningar och/eller postrar vid vetenskapliga konferenser.



**Figur 20**  
Illustration över den vetenskapliga processen.



# Forskningsuppgiften

## Utförande

I denna studie kommer eleverna att utföra två experiment: laboration 1 och laboration 2. UV-laserpekaren måste hanteras av läraren.

**LABORATION 1** syftar till att bekanta sig med, och träna på, utförandet och tillverkning av kolkvantprickar. I Laboration 1 ska eleverna tillverka kolkvantprickar enligt given instruktion.

De ämnen som kommer att användas vid tillverkning av kolkvantprickar i laboration 1 är citronsyra och urea. Eleverna ska därefter verifiera att de har tillverkat kolkvantprickar genom att belysa lösningen med en UV-laserpekare. Om laborationen lyckats syns en grön fotoluminescens då lösningen belyses med en UV-laserstråle från sidan.

Alla elever bör lyckas med denna laboration, om inte är det ett mycket bra tillfälle att analysera felkällorna och göra om laborationen för att lyckas.



**Figur 21**

En bägare innehållande en lösning av kolkvantprickar belyses med en UV-laserpekare, då visas gröna fotoluminescens från kolkvantprickarna.

**LABORATION 2** syftar till att tillverka kolkvantprickar av olika ämnen men med egna kombinationer och koncentrationer av dessa. Detta kan göras på två sätt – antingen med hjälp av olika ämnen från forskarna, eller med hjälp av egna kreativa förslag på ämnen som ni vill testa. Tillvägagångssättet är detsamma som i laboration 1. I laboration 2 kommer eleverna sedan att utföra ett kvalitativt test för att ta reda på om deras kolkvantprickar kan användas för att detektera järnjoner och eller kopparjoner. Järn- och kopparjoner fungerar här som modell för tungmetaller.

Detta tungmetallstest baseras på släckning av fotoluminescens. Om metalljonerna binder till kolkvantprickarna i lösningen leder det till en minskning av fotoluminescensen eller en förändring i färgen av kvantpartiklarnas fotoluminescens när provet belyses av UV-laserljus. Förändringen kan vara liten och svår att upptäcka med detta relativt enkla test. Skolorna kommer därför att skicka sina prover med kolkvantprickar till forskarna. Forskarna har tillgång till mer avancerad analysutrustning och kan därmed göra noggrannare undersökningar av kvantprickarnas funktion att detektera dessa metalljoner och även möjligheten att kvantifiera metalljonerna i lösningarna. Resultaten av denna analys skickas tillbaka till skolorna och utgör en del av underlaget när eleverna tillverkar sina vetenskapliga postrar.

Till laboration 2 kommer varje skola att förses med åtta olika ämnen att välja mellan i sina labförsök. Kom gärna på ämnen som klassen är intresserade av att testa att tillverka kolkvantprickar av. De krav som ställs på ämnen som kan användas i denna laboration är:

- Ett ämne ska innehålla kväve. (A)
- Ett ämne ska vara en organisk förening. (B)
- Båda ämnena ska vara vattenlösliga.

Exempel på organiska föreningar är honung eller andra former av socker. Exempel på ämnen innehållande kväve är proteinpulver och B-vitaminer, till exempel riboflavin (vitamin B2) eller folsyra/folat (vitamin B9). Titta gärna även vad ni har i skolans kemikalieskåp. När ni väljer egna ämnen är det viktigt att ni stämmer av med forskarna om ämnet är lämpligt och kring eventuella risker. Detta görs via mail till [ken.welch@angstrom.uu.se](mailto:ken.welch@angstrom.uu.se) och [forskarhjalpen@nobelprize.org](mailto:forskarhjalpen@nobelprize.org)

*Proverna skickas till:*

Ken Welch  
Institution för materialvetenskap  
Regementsvägen 1  
752 37 Uppsala

# Undervisningstips, litteratur och länkar

## **Om kvantprickar från Kungl. Vetenskapsakademien**

[https://www.kva.se/app/uploads/2023/12/pop\\_ke\\_sv\\_23.pdf](https://www.kva.se/app/uploads/2023/12/pop_ke_sv_23.pdf)

<https://www.kva.se/app/uploads/2023/11/scibackkeen23.pdf>

## **Solceller med kvantprickar**

<https://www.svtplay.se/video/egn2ykk/nobelstudion/igar-19-00?id=egn2ykk>

## **Om mobiltelefoner**

<https://dinkemi.se/elearning/samhalle/mobiltelefonen>

## **Nobelprislektionen i kemi 2023, med elevövning**

<https://nobelprizemuseum.se/kemipriset-2023/>

## **Nobelpriset i kemi 2023**

<https://www.kva.se/nyheter/nobelpriset-i-kemi-2023/>

## **Nobelpriset i kemi 2023 – populärvetenskaplig information**

[https://www.kva.se/app/uploads/2023/12/pop\\_ke\\_sv\\_23.pdf](https://www.kva.se/app/uploads/2023/12/pop_ke_sv_23.pdf)

## **Solceller med kvantprickar**

<https://www.kemi.uu.se/angstrom/forskning/fysikalisk-kemi/forskargrupper/erik-johansson-group>

## **Kvantprickar ger full koll på fotonerna**

<https://liu.se/artikel/kvantprickar-ger-full-koll-pa-fotonerna>

## **Enastående prestanda hos en bredbandig pelarmikrokavititet**

<https://www.su.se/fysikum/nyheter/enastående-prestanda-hos-en-bredbandig-pelarmikrokavititet-1.621151>

## **Björklöv som råmaterial för tillverkning av organiska halvledare**

[https://www.umu.se/nyheter/bjorklov-som-ramaterial-for-tillverkning-av-organiska-halvledare\\_11856974/](https://www.umu.se/nyheter/bjorklov-som-ramaterial-for-tillverkning-av-organiska-halvledare_11856974/)

- Ordförklaringar och definitioner

### **Nedladdningsbara dokument**

- Labinstruktion – lärare
- Labinstruktion 1 – elev
- Protokoll, laboration 1 – elev
- Labinstruktion 2 – elev
- Protokoll, laboration 2 – elev

# Ordförklaringar och definitioner

- Absorption:** Upptagning av ljus eller energi av ett ämne.
- Band:** I fysiken refererar band till energinivåer i ett material som elektroner kan befinna sig i.
- Bandgap:** Energiintervallet mellan ledningsband och valensband där elektroner inte kan befinna sig.
- Bandstruktur:** Beskriver hur elektronernas energinivåer är ordnade i ett material.
- Bioackumulering:** Process där levande organismer över tid samlar på sig ökande mängder av ett ämne, oftast gifter från miljön.
- Elektricitet:** Energi som genereras från laddade partiklar, används för att driva elektriska apparater.
- Elektromagnetisk strålning:** Vågor av energi som färdas genom rymden och kan variera i våglängd, till exempel ljus och radiovågor.
- Elektromagnetiskt spektrum:** Samlingsbegrepp för samtliga möjliga våglängder av elektromagnetisk strålning.
- Elektron:** En negativt laddad partikel som kretsar kring en atoms kärna.
- Elektronisk struktur:** Arrangemanget av elektroner i en atom eller molekyl.
- Emittera:** Att sända ut eller avge, som ljus eller energi.
- Energi:** Förmågan att utföra arbete eller orsaka fysikaliska förändringar; finns i olika former som mekanisk, termisk och elektrisk. Även elektromagnetisk strålning är en form av energi.
- Energinivå:** De bestämda mängderna energi som elektroner i en atom kan ha.
- Excitera:** Att tillföra energi till en atom eller molekyl så att dess elektroner flyttas till högre energinivåer.
- Fosforescens:** Liknar fluorescens, men ljuset fortsätter att lysa en stund efter att den exciterande ljuskällan tagits bort.
- Fotoluminescens:** Ljusutsändning från ett material när det exponeras för ljus. Både fluorescens och fosforescens är exempel på fotoluminescens.
- Fotoluminescenssläckning:** En process som minskar eller avbryter emissionen av ljus från ett fotoluminescerande ämne.
- Fluorescens:** Ljus som sänds ut av vissa material när de är belysta av ljus eller annan strålning.
- Fluorescensspektrometer:** Ett instrument för att mäta fluorescensspektra från ett prov.
- Förorening:** Förekomsten av skadliga eller oönskade ämnen.

**Gammastrålning:** En form av elektromagnetisk strålning med mycket hög energi och kort våglängd.

**Halvledare:** Ett material som leder elektricitet bättre än isolatorer men sämre än ledare.

**Infraröd strålning:** Värme eller strålning som har längre våglängder än synligt ljus, men kortare än mikrovågor.

**Isolator:** Ett material som leder elektricitet dåligt.

**Jon:** En atom eller molekyl som har förlorat eller tillförts elektroner och därför har en elektrisk laddning.

**Kolkvantprickar:** En typ av nanopartikel bestående av kol med unika optiska och elektroniska egenskaper. De kan också kallas kolprickar.

**Kolloid:** En blandning där mycket små partiklar är finfördelade i en annan substans. Partiklar har minst en storlek mellan 1 nanometer och 1 mikrometer i någon dimension.

**Kristall:** Ett fast material vars atomer, joner eller molekyler är ordnade i en mycket välordnad struktur.

**Kvanteffekt:** Effekter som uppstår när materialens storlek är så liten att kvantmekaniska fenomen blir betydande.

**Kvantinneslutning:** När rörelsen av partiklar som elektroner begränsas till mycket små utrymmen.

**Kvantiserad:** När värden är begränsade till specifika, diskreta mängder.

**Kvantmekanik:** Studiet av fysik som beskriver beteendet av mycket små partiklar som atomer och subatomära partiklar.

**Kvantprick:** En typ av nanopartikel mindre än 10 nanometer i storlek som är en kristall av ett halvledarmaterial. På grund av sin litenhet får kvantprickar andra optiska och elektroniska egenskaper än en större kristall av samma material.

**Ledare:** Material som leder elektricitet väl.

**Ledningsband:** Energinivå där elektroner är fria att röra sig genom ett material.

**Ljus:** Elektromagnetisk strålning som är synlig för det mänskliga ögat.

**Materia** är allt som går att väga, alltså allt som har en massa och en volym, som kan finnas i tre former, fast, flytande eller som gas.

**Metall:** En grupp av element som vanligtvis är glänsande och bra på att leda värme och elektricitet.

**Mikrovågsstrålning:** Form av elektromagnetisk strålning som har längre våglängder än infraröd strålning men kortare än radiovågor.

**Molekyl:** Två eller flera atomer som är kemiskt bundna till varandra.

**Nanometer:** En miljarddels meter;  $10^{-9}$  meter.

**Nanopartikel:** En partikel som är så liten att den mäter mellan 1 och 100 nanometer.

**Nanoteknik** handlar om att hantera materia på nanometerskalan och innebär en medveten framställning av strukturer som tar till vara mekaniska, optiska, elektriska och magnetiska och andra egenskaper som uppstår på nanometernivå.

**Polär:** En molekyl som har en ojämn fördelning av elektrisk laddning, vilket gör att den har en positiv och en negativ ände.

**Protein:** En stor molekyl i levande organismer som är nödvändig för de flesta biologiska processer.

**QLED-teknik:** En skärmtyp som använder kvantprickar för att förbättra färger och skärpa i TV-apparater och skärmar.

**Röntgenstrålning:** En form av elektromagnetisk strålning med kort våglängd, används i medicinska bilddiagnostik.

**Spektrum:** Området av olika typer av vågor, t.ex. ljus eller ljud, ordnat efter energi, frekvens eller våglängd.

**Släckning:** Processen att minska eller avbryta emissionen av ljus från ett fotoluminescerande ämne.

**Toxicitet:** Mått på hur giftigt ett ämne är.

**Tungmetall:** Termen används ofta i betydelsen metaller med hög densitet och särskilt för miljöfarliga metaller. Visserligen stämmer det att de flesta tunga metaller och deras kemiska föreningar är giftiga, men det finns också flera livsnödvändiga tungmetaller som järn, koppar och zink.

**Ultraviolett strålning:** Elektromagnetisk strålning med kortare våglängder än synligt ljus.

**Valensband:** Energinivå i ett material där elektroner är bundna till atomer.

**Våglängd:** Avståndet mellan två toppar i en våg, som ljus eller ljud.

**Ämne:** Material eller substans med specifika kemiska egenskaper.

# Materiel och kemikalier

## Skoluppsättning av materiel:

- 1 st UV-laserpekare (405 nm).
- 2 st mikrovågsugnar. Skolan beställer, kvitto skickas till forskaren.

## Klassuppsättning av materiel och kemikalier:

- 2 st Eppendorfrör per elevpar
- 2 st provrör i glas per elevpar
- 4 st engångspipetter per elevpar
- 50 g citronsyrapulver
- 50 g ureapulver
- 5 g vardera av de åtta ämnen som klassen ska använda i lab 2
- 50 ml kopparsulfatlösning
- 50 ml järnsulfatlösning
- Ark med numrerade klisteretiketter för märkning av Eppendorfrör
- 2 st märkpennor

Cirka 14 l destillerat vatten behövs per klass för båda laborationerna. Om det inte finns på skolan, kan det köpas på till exempel Biltema.

## Hantering av restprodukter

- Labbutrustning kan diskas och återanvändas.
- Glasprovrör kan diskas och återanvändas.
- Lösning med kopparjoner och järnjoner samlas upp i slask för tungmetaller.



## Förberedelser inför Laboration 1

### Materiel per elevpar:

- Ett Eppendorfrör
- Ett provrör i glas
- En E-kolv – 50 ml
- En bägare med volym 50–100 ml
- En bägare med volym 250 ml
- Två engångspipetter – 3 ml

### Materiel för hela klassen:

- Ark med numrerade klisteretiketter
- UV-laserpekare (en för hela klassen)
- Mikrovågsugn
- Grytlapp eller tång
- Våg
- Märkpennor
  
- 50 g citronsyrapulver
- 50 g ureapulver
- Destillerat vatten – ca 5 liter

## Förberedelser inför Laboration 2

### Ta fram följande materiel per elevpar:

- Ett 5 ml Eppendorfrör
- Ett provrör i glas
- En E-kolv – 50 ml
- Tre bägare med volym 250 ml
- Två engångspipetter – 3 ml

### Ta fram följande materiel för hela klassen

- Ark med numrerade klisteretiketter
- UV-laserpekare (en för hela klassen)
- Mikrovågsugn
- Grytlapp eller tång
- Destillerat vatten – ca 8 liter
- De ämnen som klassen vill testa
- 50 ml kopparsulfatlösning
- 50 ml järnsulfatlösning

## Utförande

1. Förbered 20 ml lösning av respektive ämne som klassen vill testa att tillverka kolkvantprickar av. Dela upp lösningarna i två grupper: kväveföreningarna i grupp A och de organiska föreningarna i grupp B.
2. Ni kan arbeta med de ämnen som forskarna skickat eller med egna förslag. Markerat på varje behållare som kommer från forskarna finns angivet hur stor mängd som ska lösas upp i 20 ml destillerat vatten. Märk varje bägare med innehåll och koncentration (g/ml). Arbetar ni med ämnen som ni själva kommit på löser ni det i 20 ml destillerat vatten. Tillsätt ämnet gradvis, max 2 g eller tills lösningen är mättad. Märk varje bägare med innehåll och koncentration (g/ml).
3. Placera en engångspipett i varje bägare för eleverna att använda när de överför lösningen till sina egna provrör.
4. Häll 20 ml av järnlösningen respektive kopparlösningen i varsin bägare. Placera en pipett i respektive bägare. Dessa pipetter får ej sammanblandas.

# Laboration 1

## Kolkvantprickar av citronsyra och urea

### Skyddsutrustning

- Labbrock
- Skyddsglasögon

*OBS! Undvik direkt hudkontakt med kemikalier och lösningar. Om kemikalier eller lösningar kommer i kontakt med hud eller ögonen, spola av med vatten för att minska risken för irritation. Titta aldrig direkt i laserstrålen, sikta inte med lasern mot någon och ha skyddsglasögon på hela tiden.*

### Materiel

- Ett 5 ml Eppendorfrör
- Ett provrör i glas
- En E-kolv – 50 ml
- En liten bägare med volym 50–100 ml
- En bägare med volym 250 ml
- Mätglas
- Två engångspipetter – 3 ml
- Numrerade klisteretiketter för märkning av Eppendorfrör
- Grytlapp eller tång
- Våg
- Mikrovågsugn
- UV-laserpekare (en för hela klassen)
- Märkpennor

### Kemikalier

- Destillerat vatten
- 2 g citronsyrapulver
- 2 g ureapulver

## Utförande

1. Anteckna skola, klass, datum och namn i protokollet.
2. Märk ett Eppendorför med en numrerad klisteretikett. Notera koden i protokollet.
3. Märk provröret i glas med gruppens namn.
4. Ställ provröret i E-kolven.
5. Mät upp 20 ml destillerat vatten med mätglas.
6. Häll destvattnet i den lilla bägaren.
7. Väg upp 2 g citronsyra och 2 g urea.
8. Tillsätt 2 g citronsyra och 2 g urea i den lilla bägaren med destillerat vatten. Rör om tills ämnena är helt upplösta.
9. Ta en pipett och överför 1 ml av lösningen till provröret i glas.
10. Placera E-kolven med provrör i mikrovågsugnen på den roterande glasp-lattan. Den ska stå halvvägs mellan mitten och den yttre kanten av glasp-lattan. Två E-kolvar med prover kan värmas samtidigt. De ska placeras på vardera sida av glasplattan.  
*OBS! Se till att ha god ventilation i klassrummet när detta steg utförs. Vissa blandningar kan ge kraftig lukt.*
11. Ställ in mikron på 700 W och tiden 5 minuter. Stäng av mikrovågsugnen när du ser att lösningen har bytt färg till ett brun/mörk färg eller när allt vatten har avdunstat. Detta kan vara svårt att se. Öppna mikrovågsugnen några gånger för att kontrollera reaktionen och om det finns något vatten kvar.
12. Avsluta uppvärmningen när provet har ändrat färg eller allt vatten har avdunstat.
13. Anteckna i protokollet hur lång tid lösningen var i mikrovågsugnen (min och sek).
14. Ta försiktigt ut E-kolven med provrör från mikrovågsugnen med en grytlapp eller tång, det kan bli ganska varmt.
15. Ta en ny engångspipett och tillsätt 3 ml destillerat vatten i provröret. Skaka tills ämnet på botten har löst upp sig.
16. Ta en bägare med volym av 250 ml och tillsätt 200 ml destillerat vatten.

17. Sug upp lite av lösningen från provröret med pipett och för över 3 droppar till bägaren innehållande destillerat vatten. Rör om.  
*OBS! Titta aldrig direkt i laserstrålen, sikta inte med lasern mot någon och ha skyddsglasögon på hela tiden. UV-lasern hanteras av läraren.*
18. Placera UV-lasern vid sidan om 250-mlbägaren och lys på lösningen.  
Om strålen som går genom lösningen har en annan färg än lila är provet fluorescerande (självlysande). Om strålen endast lyser svagt, tillsätt ytterligare tre droppar av lösningen från provröret. Lys med lasern igen.
19. Anteckna färgen på fluorescensen i protokollet. Effekten blir tydligare om ni lyser på provet i ett mörkare rum. Ta en bild på laserstrålen med en mobilkamera.
20. Häll över den lösning som finns kvar i glasprovröret till Eppendorfröret. Se till att Eppendorfröret har en klisteretikett. Spara det till nästa lab. Sparat material kan förvaras i rumstemperatur och skyddat från direkt solljus.



## PROTOKOLL – Laboration 1: Kolkvantprickar av citronsyra och urea

Skola	Datum: år/månad/dag
-------	---------------------

Klass	Namn
-------	------

Kod på Eppendorfrör
---------------------

Ämne 1	Volym (ml)	Koncentration (g/ml)
--------	------------	----------------------

Ämne 2	Volym (ml)	Koncentration (g/ml)
--------	------------	----------------------

Volym lösning överfört till provrör
-------------------------------------

Mikrovågsugn – tid	Mikrovågsugn – effekt
--------------------	-----------------------

Färg på ämnet i provrör efter uppvärmning
---

Antal droppar av lösningen överfört från provrör till bägare med 200 ml destvatten
--

Färg på lösningen i bägaren efter lösning från mikrat provrör
---

Färg på laserstrålen genom provet
-----------------------------------

Övriga observationer

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A series of horizontal dotted lines for writing.

# Laboration 2

## Tillverka nya kolkvantprickar

### Skyddsutrustning

- Labbrock
- Skyddsglasögon

*OBS! Undvik direkt hudkontakt med kemikalier och lösningar. Om kemikalier eller lösningar kommer i kontakt med hud eller ögonen, spola av med vatten för att minska risken för irritation.*

### Material

- Eppendorfrör med prov från lab 1.
- Ett Eppendorfrör
- Ett provrör i glas
- En E-kolv – 50 ml
- Tre mindre bägare med volym av ca 100 ml
- Två bägare med volym 250 ml
- Två engångspipetter – 3 ml
- Numrerade klisteretiketter för märkning av Eppendorfrör
- Grytlapp eller tång
- Mikrovågsugn
- UV-laserpekare (en för hela klassen)

### Kemikalier

- Destillerat vatten
- Minst fyra olika lösningar av ämnen som innehåller kväve (A)
- Minst fyra olika lösningar av organiska ämnen (B)
- Järnsulfatlösning
- Kopparsulfatlösning



## Upplägg laboration 2

Denna laboration består av två steg: i steg ett ska du tillverka kolkvantprickar av två nya ämnen. I steg två ska du testa hur bra dina nytillverkade kolkvantprickar är på att upptäcka förekomst av tungmetaller i vattenlösning.

Steg två görs genom att tillsätta järnjoner och eller kopparjoner till din lösning av kolkvantprickar. Kom ihåg att notera alla iakttagelser i protokollet. Det är bättre med för mycket anteckningar än för lite.

### Utförande – steg 1

1. Anteckna skola, klass, datum och namn i protokollet.
2. Märk ett Eppendorfrör med en numrerad klisteretikett. Notera koden i protokollet.
3. Märk provröret i glas med gruppens namn.
4. Ställ provröret i E-kolven.
5. Välj ett ämne från grupp A innehållande kväve som du vill testa.
6. Välj ett ämne från grupp B innehållande en organisk förening som du vill testa.
7. Tillsätt 0,5 ml av varje lösning till ditt provrör. Rör om försiktigt.
8. Anteckna vilka ämnen du väljer i protokollet. Anteckna koncentration och tillsatt volym i protokollet.
9. Ta en pipett och överför 1 ml av lösningen till provröret i glas.
10. Placera E-kolven med provrör i mikrovågsugnen på den roterande glasplattan halvvägs mellan mitten och den yttre kanten av glasplattan. Två E-kolvar med prover kan värmas samtidigt. De ska placeras på vardera sida av glasplattan.  
*OBS! Se till att ha god ventilation i klassrummet när detta steg utförs. Vissa blandningar kan ge kraftig lukt.*
11. Ställ in mikrovågsugnen på 700 W och tiden 5 min. Stäng av mikrovågsugnen när du ser att lösningen har bytt färg till ett brun/mörk färg eller när allt vatten har avdunstat. Detta kan vara svårt att se. Öppna mikrovågsugnen några gånger för att kontrollera reaktionen och om det finns något vatten kvar.
12. Avsluta uppvärmningen när lösningen har ändrat färg eller allt vatten har avdunstat.
13. Anteckna i protokollet hur lång tid lösningen var i mikrovågsugnen (min och sek).

14. Ta försiktigt ut E-kolven med provrör från mikrovågsugnen med en grytlapp eller tång, det kan bli ganska varmt.
15. Ta en ny engångspipett och tillsätt 3 ml destillerat vatten i provröret. Skaka tills ämnet på botten har löst upp sig. Det är OK om ej allt har lösts upp. Ställ detta prov åt sidan en stund.
16. Ta fram två bägare med volym av 250 ml. Tillsätt 200 ml destillerat vatten i vardera bägare. Märk bägarna med 1 respektive 2.
17. Ta ditt Eppendorfrör från Laboration 1. Ta en ny engångspipett och överför tre droppar av lösningen från Eppendorfröret till bägare 1 och rör om.
18. Sug upp lite av lösningen från provröret (de nya kolkvantprickar du just tillvkerat) med pipett och för över 3 droppar till bägare 2. Rör om.  
*OBS! Titta aldrig direkt i laserstrålen, sikta inte med lasern mot någon och ha skyddsglasögon på hela tiden. UV-lasern hanteras av läraren.*
19. Lys på lösningen bägare 1 och sedan bägare 2. Jämför färgen på strålen som går genom lösningen. Om strålen har en annan färg än lila är provet fluorescerande (självlysande). Om strålen lyser svagt i bägare 2 kan du tillsätta 3 droppar till av lösningen från provröret. Effekten blir tydligare om ni lyser på provet i ett mörkare rum.
20. Notera färgen på laserstrålen i prov 2 i protokollet.
21. Titta noga efter skillnader på lösningens färg, laserstrålens färg, eventuell grumlighet. Notera alla iakttagelser i protokollet.
22. Ta bild på laserstrålen med mobilkamera.
23. Håll resten av lösningen från ditt provrör till ditt Eppendorfrör. Prov med protokoll skickas till Uppsala universitet för vidare analys.

### Utförande – steg 2

Nu ska du testa om dina kolkvantprickar kan detektera en tungmetallerna järn och koppar i vattenlösning.

1. Ta fram två nya bägare med en liten bottenarea. Märk bägarna med Fe respektive Cu.
2. Nu ska du använda lösningen i bägare 2 från steg 18 ovan. Fördela lösningen från bägare 2 (med dina nytillverkade kolkvantprickar) jämt i de tre mindre bägarna.
3. Tillsätt tre droppar järnlösning i Fe-bägaren.
4. Tillsätt tre droppar kopparlösning i Cu-bägaren.
5. Placera UV-lasern på sidan av respektive bägare och lys genom lösningen. Om strålen som går genom lösningen har en annan färg än lila är provet fluorescerande (självlysande).
6. Titta noga efter om färgen eller intensiteten på laserstrålen är annorlunda eller densamma när den går genom lösningen med Fe respektive Cu. Jämför även med lösningen i bägaren där inga jonlösningar är tillsatta. Notera eventuella skillnader i protokollet.
7. Notera färgen på fluorescensen i protokollet. Effekten blir tydligare om ni lyser på provet i ett mörkare rum. Ta en bild på laserstrålen.
8. Sparat material förvaras i rumstemperatur, men skall inte utsättas för direkt solljus



## PROTOKOLL – Laboration 2: Tillverka nya kolkvantprickar

Skola	Datum: år/månad/dag
-------	---------------------

Klass	Grupp
-------	-------

Kod på Eppendorfrör:

Ämne A	Volym (ml)	Koncentration (g/ml)
--------	------------	----------------------

Ämne B	Volym (ml)	Koncentration (g/ml)
--------	------------	----------------------

Volym lösning tillsatt i provröret

Mikrovågsugn – tid	Mikrovågsugn – effekt
--------------------	-----------------------

Färg på materialet i provröret efter uppvärmning

Färg på lösningen i provröret efter tillsatt 3 ml vatten

Färg på laserstrålen i bägaren med ditt prov

Färg på laserstrålen i bägaren med lösningen från laboration 1

Antal droppar kopparlösning tillsatt i lösningen med ditt prov

Färg på laserstrålen i lösningen med tillsatt kopparlösning

Antal droppar järnlösning tillsatt i lösningen med ditt prov

Färg på laserstrålen i lösningen med tillsatt järnlösning:





# Kontaktuppgifter

## **Anna Ålander**

Projektledare, pedagogiskt ansvarig  
Nobelprismuseet  
anna.alander@nobelprize.org

## **Paulina Wittung Åman**

Museilektor, pedagogiskt ansvarig  
Nobelprismuseet  
paulina.wittung.aman@nobelprize.org

## **Maria Strømme**

Professor vid Institutionen för materialvetenskap,  
Uppsala universitet

## **Ken Welch**

professor vid Institutionen för materialvetenskap,  
Uppsala universitet

NOBEL PRIZE MUSEUM I SAMARBETE MED

---



FORMAS

The word "FORMAS" is written in a bold, sans-serif font, followed by a small graphic of four colored dots (red, green, blue, yellow) arranged in a 2x2 grid.