

Fortiden i Fremtiden

Et undervisningskompendium til brug i naturfag (7. – 10. Kl.), samt i fysik- og kemiundervisningen (på gymnasiet).



Udarbejdet af:
Jeanette Mai Rathe, lærer på Langelands Efterskole,
med bidrag fra Bevaringscenter Fyn.
2019

Indholdsfortegnelse.

Forord.....	s. 3
Det Periodiske System.....	s. 4
Atomets opbygning.....	s. 7
Isotoper.....	s. 7
Elektromagnetisk stråling.....	s. 9
Ioniserende stråling.....	s. 11
Alfa-, Beta- og Gammastråling.....	s. 12
Hvad er alfastråling?.....	s. 12
Hvad er betastråling?.....	s. 13
Hvad er gammastråling?.....	s. 15
Hvad er røntgenstråling?.....	s. 16
Bremsenstråling.....	s. 17
Kollisionsstråling.....	s. 17
Hvordan virker et røntgenrør?.....	s. 18
Hvordan virker XRF-scanneren?.....	s. 19
Kort om fluorescens.....	s. 21
Kort om røntgenspektrets elektronspring.....	s. 22
Tabeller over grundstofferne røntgenenergier.....	s. 23
Sikkerhed omkring XRF-scanneren.....	s. 26
Hvad kan man bruge en XRF-scanner til?.....	s. 27
Eksempler: analyse af fund/genstande og deres spektre i praksis.....	s. 30

Forord.

Dette kompendium er tiltænkt naturfags- og historielæreren i udskolingen, samt lærere i fysik, kemi og historie på STX eller anden videregående uddannelsesinstitution. Materialet er udarbejdet i forbindelse med projektet Fortiden i Fremtiden, hvis formål er at formidle styrkerne ved tværfagligt samarbejde omkring forskning og bevaring af den materielle kulturarv ud fra en praktisk orienteret vinkel. Til hvad og hvordan kan eleverne bruge den teoretiske viden de tilegner sig i skolen?

Kompendiet er blevet til med baggrund i udstillingen Magtens Grundstof – længere ind i historien, men det er designet til at kunne anvendes uden udstillingsbesøg. Kompendiet tager udgangspunkt i emnet stråling og beskriver hvordan XRF-scanning rent praktisk bruges til undersøgelse af kulturhistoriske genstande. Ved brug af kompendiet kan eleverne blive så godt indført i den naturvidenskabelige baggrund bag XRF-scanneren, at de dels vil kunne forstå, hvad der ligger til grund for denne nye teknologi, dels vil kunne forstå, hvorfor den er blevet så vigtigt et redskab bl.a. inden for arkæologien og historisk forskning, som den er, samt forstå hvad den kan bruges til, hvordan den virker og hvorfor. I forståelsen af XRF-scanneren, er der en del pensum, der samtidig bliver belyst, bl.a. teori omkring: Det periodiske system, atomets opbygning, ioner, isotoper, elektromagnetisk stråling – herunder også alfa, beta, gamma og røntgenstråling, elektronspring, spektre mv.

Materialet vinkles dels ud fra målrettet fysik/kemiundervisning i udskolingen og på gymnasiet, samtidig er det dog også vinklet ud fra et reelt teoretisk- og praktiskorienteret arbejdsfelt som historie, arkæologi og konservering. Ideen er, at man som underviser plukker ud af stofmængden, så det passer med det pensum, man ønsker at gennemgå med sin klasse – kompendiet her kan bruges som en vej ind i flere forskellige sammenhænge og naturligvis kobles med det materiale, der ellers arbejdes ud fra på klassen. Afslutningsvis i kompendiet bliver eleverne/læreren præsenteret for nogle af de forskellige genstande og fund, der også vil kunne ses og opleves på museerne, samt for de spektre, der tilbagekastes fra netop disse via XRF-scanneren. Her vil eleverne/læreren dels kunne se, hvordan man konkret arbejder med XRF-scanneren, samt hvordan man efterfølgende analyserer resultatet. Det er især igennem efterarbejdet, at arkæologien, historien og naturfagene som: fysik, kemi, biologi, geografi og geologi mv. kommer hinanden til gode.

God fornøjelse.

Det periodiske system (DPS)

Figur 1.

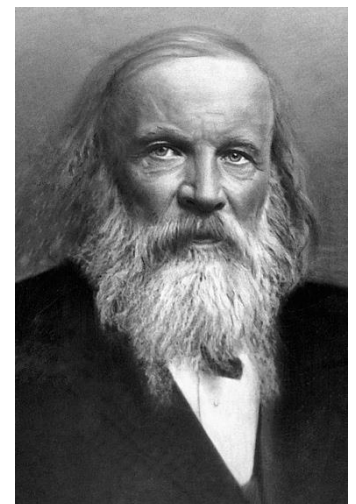
Grundstoffernes Periodiske System

1 IA New Original	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 H 1.00794	2 He 4.002602																
3 Li 6.941	4 Be 9.012182											5 B 10.811	6 C 12.0107	7 N 14.00674	8 O 15.9994	9 F 18.9984032	10 Ne 20.1797
11 Na 22.989770	12 Mg 24.3050											13 Al 26.981538	14 Si 28.0855	15 P 30.973761	16 S 32.0595	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938049	26 Fe 55.8457	27 Co 58.933200	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293
55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	57 to 71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.078	79 Au 196.96655	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98038	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 to 103	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (269)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus (294)	118 Uuo (294)
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.																	
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), http://www.dayah.com/periodic/																	
Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.																	
57 La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.500	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967			
89 Ac (227)	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03688	92 U 238.02891	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)			

Kort gennemgang af Det Periodiske System.

Foto 1.

Den russiske kemiker, Dmitrij Medelejev, var den første der i 1869 klassificerede grundstofferne i den tabel, vi i dag kalder: Det Periodiske System (DPS). Han efterlod nogle "huller", som andre kemiker senere hen har kompenseret for i deres opdagelse af nye grundstoffer. Men grundlæggende inddelte Medelejev grundstofferne efter deres protontal, som derved også er atomnummeret, med grundstof nr. 1, hydrogen (${}^1_1\text{H}$) med et proton øverst til venstre, ned til (i dag) grundstof nr. 118 tilsvarende protontallet 118. Grundstofferne er inddelt i et slags koordinatsystem, som vi kender det fra matematikkens verden, med en X-akse, som vi kalder: **Perioder** (heraf Det Periodiske System) og en nedadgående Y-akse, hvor vi har **Hovedgrupperne**. Bevæger man sig horisontalt (vandret) fra H - hydrogen - over til He - Helium



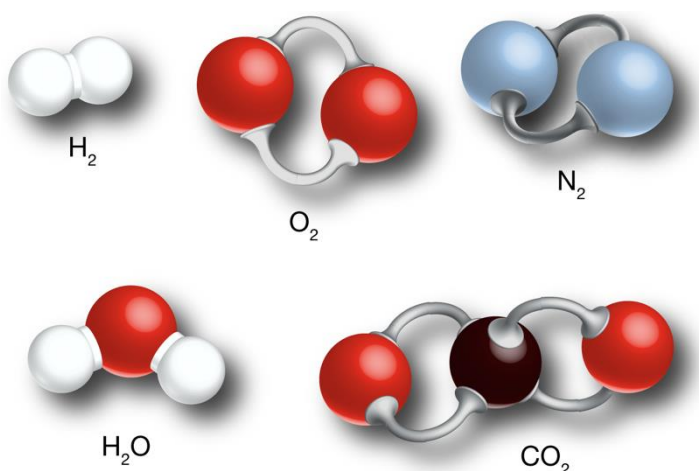
(grundstof nr. 2), så er vi i **periode 1**, også kaldet første periode. Det der gør sig gældende her er, at begge stoffer kun har én aktiv skal/orbital, nemlig K-skallen. Selvom alle grundstoffer egentligt har 7 skaller, så er det *kun* de skaller, der indeholder elektroner, der er aktive. Da H og He kun har hhv. 1 og 2 elektroner, som kun er i K-skallen, er det derfor kun den, der er aktiv. Hopper vi en linje ned, kommer vi til **Periode 2**, startende med grundstof nr. 3, Li – Lithium og vandret hen til grundstof nr. 10, Ne – Neon. Alle grundstoffer i periode 2, har 2 aktive skaller: K- og L-skallen. Der er med andre ord elektroner i begge skaller. I **periode 3** har alle grundstofferne 3 aktive skaller osv. Læg også mærke til, at alle grundstoffer i DPS har lige så mange elektroner, som de har protoner. Da en proton er en positiv elementarpartikel – dvs. en kernepartikel med en +1 i ladning – og en elektron tilsvarende har en negativ ladning dvs. -1, så ophæver ladningerne hinanden. Dvs. at alle grundstoffer i DPS er det man kalder *elektrisk neutrale*. Vigtig viden er det dog, at elektronerne ikke er elementarpartikler. De bevæger sig ikke rundt inde i kernen, men findes i stedet rundt om atomkernen i skallernes elektronsky, og da elektronerne *trækker* i protonerne og omvendt, holder de hinanden og dermed selve atomet på plads.

Bevæger vi os lodret ned gennem DPS, er grundstofferne inddelt efter **hovedgrupper**. Længst ude til venstre har vi hovedgruppe 1, startende med Hydrogen og herefter: Li, Na, K, Rb, Cs og Fr. Det, som alle disse grundstoffer har tilfælles er, at de alle har 1 elektron i deres yderste skaller. Det er hermed forskelligt, hvor mange aktive skaller de enkelte grundstoffer har, men de har alle lige præcis *én* elektron i deres yderste skal – derfor står de i hovedgruppe 1. Da alle grundstoffer i DPS, med undtagelse af hydrogen og helium "ønsker" at have 8 elektroner i yderste skal, ligesom ædelgasserne i hovedgruppe 8, er stofferne i hovedgruppe 1 også meget villige til at "gå sammen med andre grundstoffer", og derved danne molekyler for netop at opnå dette. De afgiver den ene elektron, de har i den yderste skal til et andet grundstof, så de ender op med enten 2 eller 8 elektroner i den næste skal, eller vælger "at dele elektronerne", så grundstofferne i det sammensatte molekyle nu har 2 eller 8 elektroner tilsammen. Herved opfylder de dublet- (2) eller oktet-reglen (8-reglen – ædelgasreglen), og er dermed "tilfredse". Når de smider 1 elektron, bliver de automatisk til det vi kalder *en ion – et ladet atom*. Når man smider en elektron væk, mister man sin elektriske neutralitet; atomet mister jo en partikel med en negativ ladning, og bliver derved overvejende positiv (+1).

Eksempel på molekyledannelse: **Figur 2.**

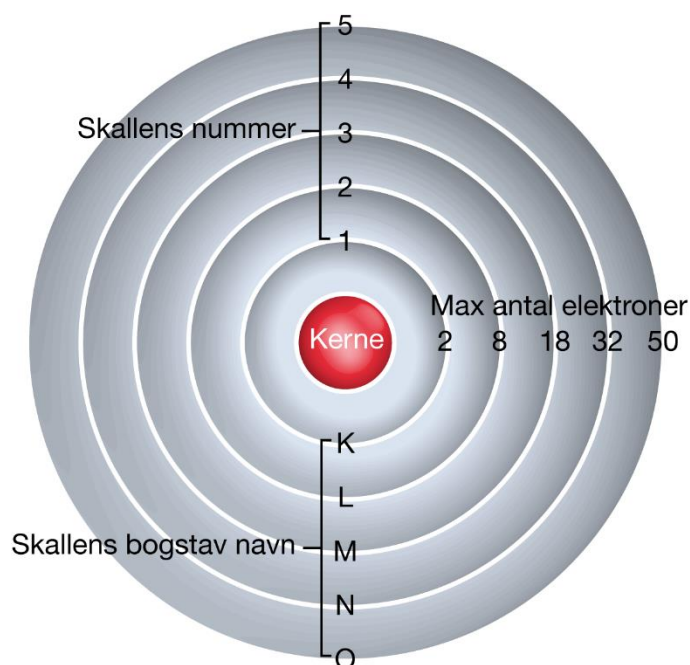
Hydrogen kan fx "gå sammen med sig selv" Og danne gasarten: H_2 (det hvide molekyle). Her deler de to H-atomer 2 elektroner og opfylder herved dubletreglen.

2 hydrogenatomer kan også vælge at gå sammen med et Oxygenatom og i stedet danne vand: H_2O .



I den næste hovedgruppe, hovedgruppe 2, støder vi først på Be – Beryllium. Herefter: Mg, Ca, Sr, Ba og Radium til sidst. Alle grundstoffer i hovedgruppe 2 har 2 elektroner i deres yderste skal. Når de

smider disse to elektroner, bliver de alle til ioner med en +2 ladning. Til højre for Be har vi ikke hovedgruppe 3, men en masse "røde" grundstoffer. Det er alle overgangsmetaller, som er en underhovedgruppe af de egentlige hovedgrupper. Disse regnes derfor ikke med som egentlige hovedgrupper, da de har andre fysiske- og kemiske egenskaber, end det der gør sig gældende for grundstofferne i hovedgrupperne. Hovedgruppe 3 starter med B – Bor. Her har alle grundstofferne 3 elektroner i yderste skal, og får derved en +3 ladning som ioner. Grundstofferne i hovedgruppe 4, kan i princippet selv vælge, om de vil afgive eller optage 4 elektroner. Her er man nødt til at kigge på de enkelte molekyledannelser, for at afgøre, hvad der er sket – hvordan elektronerne er delt imellem de enkelte ioner. Men fra hovedgruppe 5, er "det nemmere", at optage 3 elektroner, end at afgive 5. Herved får disse atomer en ladning på -3, når de omdannes til ioner. I hovedgruppe 6 en ladning på -2, og i hovedgruppe 7 en ladning på -1. I hovedgruppe 8 har vi som nævnt alle ædelgasserne. De er opfyldt således:



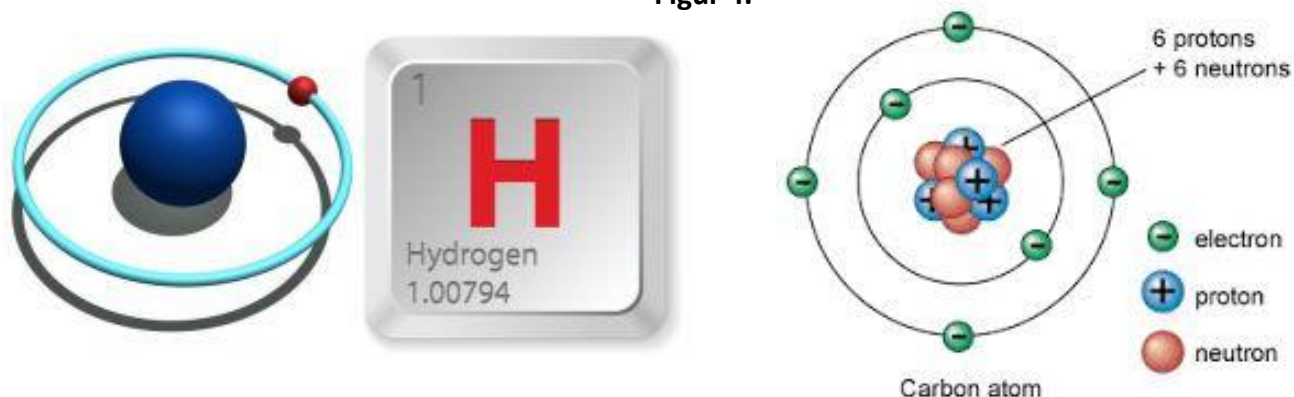
Figur 3.

Altså ideelt med det maximale antal elektroner i hver skal. De har derved ikke "lyst" til at omdannes til ioner, da de har "nok i sig selv". De skal med andre ord påvirkes i ekstrem grad – antændes eller accelereres på anden vis – før de er reaktive på nogen som helst måde.

Som det yderligere ses ud af DPS, er grundstofferne også inddelt efter fysiske og kemiske egenskaber – fx metaller og ikke metaller. På venstre side af de kraftigt markerede "sorte trappetrin", kaldet: **metaltrappen**, har vi alle metallerne – alkalimetaller (ekstremt reaktive, bløde metaller), alkaliske jordmetaller, overgangsmetaller og jordarter – lanthanoider og actinoider. På højre side af metaltrappen har vi ikke-metallerne, fx grundstenen i den organiske kemi – Carbon, samt forskellige andre faste stoffer som: bor, silicium, arsen, svovl, og så alle gasarterne: nitrogen, oxygen, klor, fluor mv.

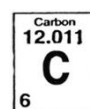
Kort gennemgang af atomets opbygning via Hydrogen og Carbon.

Figur 4.



Ovenfor ses en model af grundstof nr. 1, hydrogen (til venstre) og nr. 6: C - carbon (til højre) i en meget forenklet udgave. Som det ses, har hydrogen en blå kerne, der illustrerer, at hydrogen kun består af 1 proton og ingen neutroner. Uden for kernen, cirkulerer en elektron markeret med rødt i K-skallen (den inderste skal). Til forskel fra hydrogen har carbon en kerne bestående af 6 protoner og 6 neutroner, samt 6 elektroner fordelt ude i de to skaller – K og L-skallen. En proton og en neutron vejer det samme: 1 unit svarende til: $1 \text{ u} = 1,660539040(20) \times 10^{-27} \text{ kg}$. En elektron vejer 2000 gange mindre nemlig $1/2000$ unit. Derfor kommer hydrogen til at have protontallet 1 og carbon tilsvarende protontallet 6, hvilket også bliver afgørende for deres placering i DPS. Atomvægten for hydrogen på: 1,00794 u er en gennemsnitsvægt for hydrogen og alle dens "søskende", også kaldet **isotoper**. Det samme gør sig gældende for carbon, hvis vægt er: 12,011, som ligeledes er et gennemsnitstal for den isotopsammensætning det enkelte carbon-atom har.

Den kemiske betegnelse for carbon bliver:



Isotoper:

Ens for alle grundstoffer i DPS er, at de har "søskende" kaldet **isotoper**; det kan defineres, som forskellige udgaver af det samme grundstof blot lettere eller tungere, end det vi ser i DPS. Udadtil ligner grundstofferne og isotoperne hinanden – de har det samme antal protoner, Z , men antallet af neutroner varierer, hvorfor atommassen A , adskiller sig fra hinanden. Fx har carbon 12 isotoper (jf. figur 5), som alle har lige præcis 6 protoner og 6 elektroner, ligesom det carbon-atom der står i DPS. Den afgørende forskel er dog, at de 12 isotoper alle enten har færre eller flere neutroner i deres kerne end carbon-12, hvorfor de enten er meget lettere eller meget tungere. Isotoperne til carbon-12 får derved helt andre fysiske- eller kemiske egenskaber; fx er de alle radioaktive og udsender alfa-, beta- eller gammastråling. Ligeledes varierer deres massefylde samt koge- og smeltepunkt også fra carbon-12. Carbon-14, som vi også kalder for kulstof-14 er en af de radioaktive isotoper til carbon-12. Kernen i C-14 er så tung, at den bliver ustabil og skal af med den overskydende energi. Det gør den ved at udsende beta-minus henfald, her markeret med blåt. (Sort markering er stabilitetslinjen, rød er beta-plus henfald, gul er alfa-henfald og grå er andre typer af henfald eller indfang – bl.a. K-indfang).

Kulstof-14 er yderst interessant ift. historisk datering. Den dannes i atmosfæren ved kosmisk stråling og optages i alt levende – dyr som planter – ligesom almindeligt CO_2 ved indånding eller fotosyntese. Når dyr, planter eller vi mennesker dør, stopper de/vi med at optage kulstof-14, og mængden der er optaget begynder i stedet at henfalde over tid; dvs. halvere sig ca. hvert 5730 år. Man kan derfor, ved at måle på, hvor stor en brøkdel

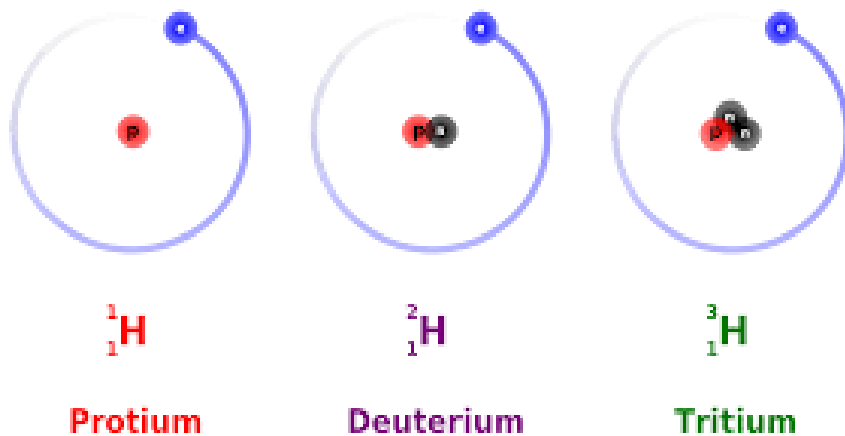
kulstof-14, der er tilbage i genstande som fx: træ, tøj eller knogler afgøre, hvor gammel den pågældende genstand er.

I figur 5 og 6 ses også hydrogen og dennes isotoper. Det første hydrogen, markeret med sort, er det hydrogen, vi kender fra DPS – stabilt hydrogen. Hydrogens isotoper opfører sig helt anderledes end det stabile hydrogen. Læg mærke til, at deuterium er dobbelt så tungt som H, og tritium 3 gange så tung, pga. antallet af neutroner i kernen. Når to deuterium-atomer eller tritium-atomer går sammen med oxygen og danner vand, kaldes det for "tungt vand" og har fysiske og kemiske egenskaber, der er helt anderledes end for almindeligt vand. Disse egenskaber anvendes med stor succes inden for kerneenergien.

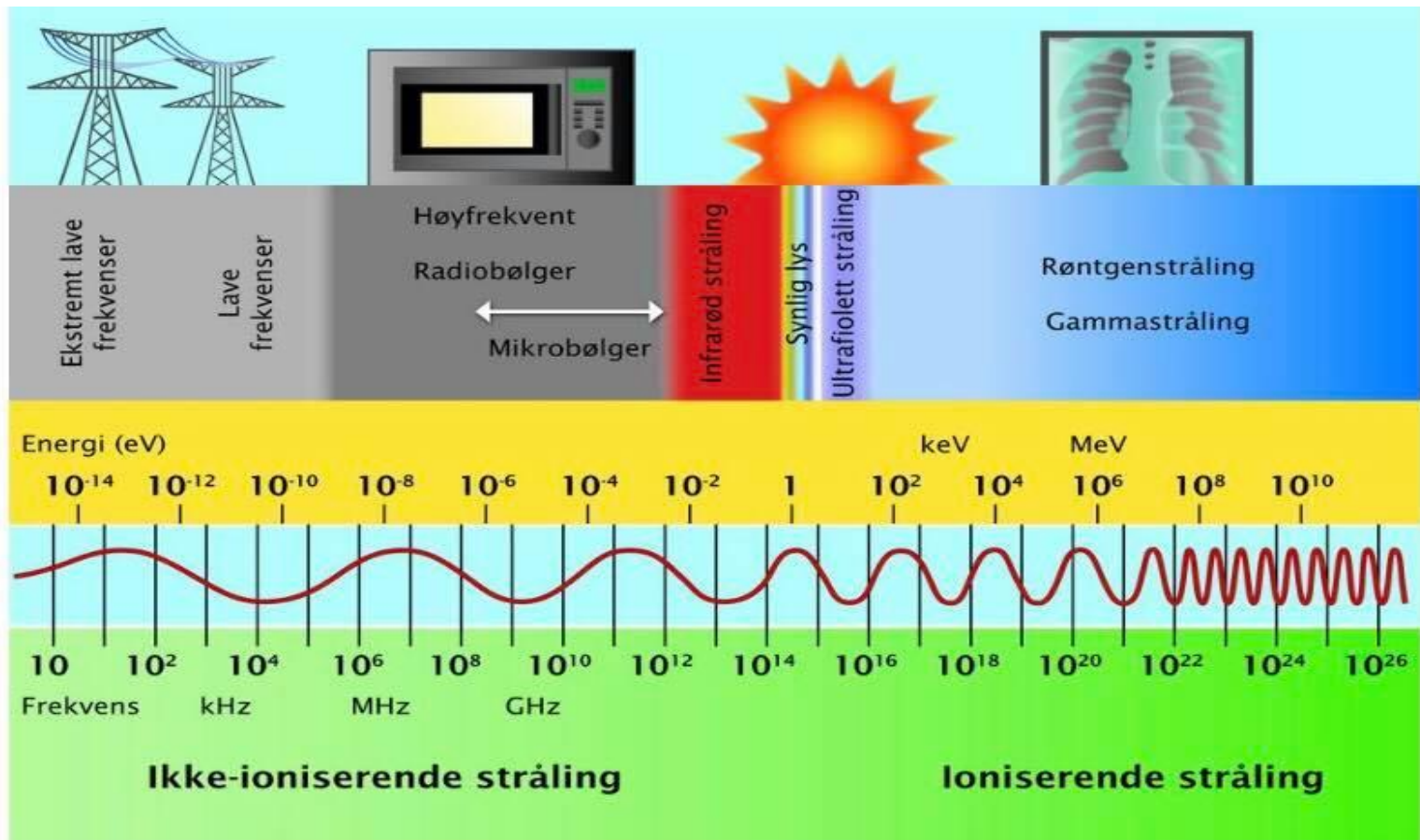
Figur 5.

13	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al
12	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
11	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
10	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
9	F	F	F	F	F	F	F	F
8	O	O	O	O	O	O	O	O
7	N	N	N	N	N	N	N	N
6	C	C	C	C	C	C	C	C
5	B	B	B	B	B	B	B	B
4	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be	Be
3	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li
2	He	He	He	He	He	He	He	He
1	H	H	H	H	H	H	H	H
0	n							

Figur 6.



Elektromagnetisk stråling (EMS).



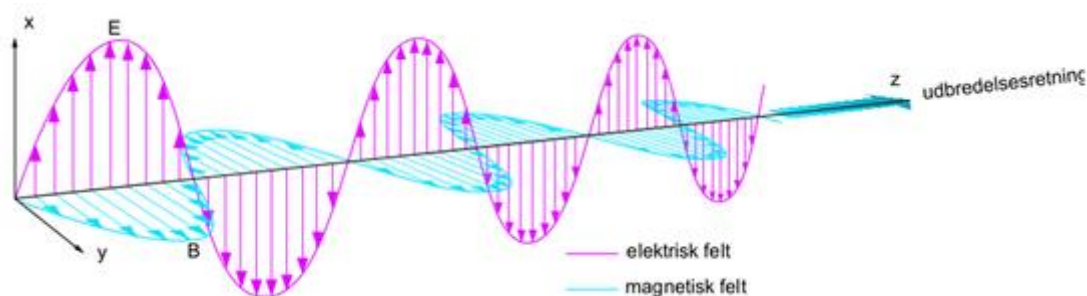
Figur 7.

Elektromagnetisk stråling er **overførsel af energi i form af bølger/fotoner fra et sted til et andet**. Som det ses på figur 7, kan elektromagnetisk stråling være alt fra naturligt forekommende stråling fra fx: jordens magnetfelt eller fra solens lys (IR-, synligt lys og UV-stråling), til den menneskeskabte stråling som udsendes fra ethvert elektrisk apparat i form af fx radiobølger. En elektrisk ladning, der accelereres, udsender elektromagnetisk stråling. Derfor udsendes der elektromagnetisk stråling, hver gang du tænder for et elektrisk apparat, som fx: computeren, mikrobølgeovnen, lampen (lyset), anlægget/højttalerne, konsollen, mobiltelefonen, fjernsynet, radioen osv. Denne stråling er lavfrekvent, dvs. at det er en helt ufarlig type stråling med en lang bølgelængde og en lav energi fx radio- eller mikrobølger.

Vi er konstant omgivet af elektromagnetisk stråling, da der er masser af apparatur, som aldrig "slukkes": Tænk fx på el-nettet, der vedvarende producerer elektricitet til at dække vores forbrug dag og nat. Satellitter, hvorfra vi fx permanent kan modtage internet, vejr billeder, GPS-signaler samt mobil-, radio- og tv-signaler. Solens indstråling, hvor vi får såvel synligt som usynligt lys i form af UV-stråling og IR-stråling (varmestråling). Længst til højre i det elektromagnetiske

spektrum, finder vi røntgen- og gammastråling, også kaldet for radioaktiv stråling. Denne type stråling er højfrekvent, dvs. at den har korte bølgelængder og er meget energirig. Derfor er denne stråling også ioniserende, dvs. at den kan gå direkte igennem fx den menneskelige krop eller materialer af forskellig art, og lave de enkelte atomer, den rammer undervejs om til ioner. Dette kan have store konsekvenser i det menneskelige væv, da det kan skade cellerne på forskellig vis, slå cellen ihjel eller forårsage mutationer i DNA. Normalvis er vi kun udsat for røntgen- og gammastråling, når vi får taget røntgenbilleder på hospitalet eller hos tandlægen eller bliver scannet eller strålebehandlet mod kræft.

Teknisk set er elektromagnetisk stråling: *impulser og energi, der bevæger sig over elektriske og magnetiske felter, som står vinkelret på hinanden*. Den elektromagnetiske stråling bevæger sig med lysets hastighed (300.000 km/sek. i vakuum) og tæt på lysets hastighed i vores atmosfære og har en udbredelsesretning (jf. figur 8).



Figur 8.

Man er derfor nødt til at beskrive den elektromagnetiske stråling ud fra forskellige parametre. Ved lavere frekvenser (som fx radiobølger, mikrobølger) opfører den elektromagnetiske stråling sig nemlig som bølger, og ved højere frekvenser (som fx ioniserende stråling) opfører den sig kun som fotoner. IR-stråling, synligt lys og UV-stråling, som i det elektromagnetiske spektrum befinder sig imellem de to ydre frekvenser, har både bølge- og fotonegenskaber. Derfor beskrives den elektromagnetiske stråling både ud fra bølgelængder som frekvens og energi pr. foton:

- Bølgelængde x frekvens = lysets hastighed: 299.792.458 m/s (ca. 3×10^8) i vakuum. (300 Mm/s eller 300 Mm·Hz)
- En fotonens energi er 4,1 feV per Hz, f.eks. 4,1µeV/GHz
- Bølgelængde x energi per foton = 1,24 µm(eV)

Læg mærke til, hvordan de forskellige typer af elektromagnetisk stråling er inddelt efter frekvenser, målt i Hz (hertz), kHz (kilohertz = 1000 Hz), MHz (megahertz 1.000.000 Hz) og GHz (gigahertz = 1.000.000.000 Hz). Og energier fra fx 10^{-14} eV (elektronvolt) længst til venstre i fig. 4, hvor vi også har de laveste frekvenser og de største bølgelængder til keV (kiloelektronvolt) hos røntgenstråling og MeV (megaelektronvolt) for gammastråling. 1 elektronvolt er en utrolig lille måleenhed på: $1.602176634 \times 10^{-19}$ joules elementarladning – vi er som nævnt helt nede på elektronplan i den atomare kvantefysik.

Ioniserende stråling.

Der findes flere forskellige former for ioniserende stråling, og ligesom det er gældende for alle de øvrige elektromagnetiske strålingstyper, udsættes vi også hver dag for små doser af ioniserende stråling kaldet: **baggrundsstråling**. Den stråling kommer dels ude fra rummet og solen i form af kosmisk stråling (partikelstråling eller gammastråling), samt som UVA-, UVB- og UVC-stråling fra solen. Vi rammes desuden af ioniserende stråling fra vores undergrund. Også her findes forskellige former for atomer og partikler, der afgiver ioniserende stråling. Det kan være grundstoffet: Radon, der er en gasart, som siver op fra jordens indre, eller det kan være fra fx granit eller andre Uran-, Thoriumholdige jordarter, der ligeledes findes i vores undergrund og i sten og klipper (fx på Bornholm). Som det ses ud af cirkeldiagrammet herunder, optager vi også små mængder stråling gennem de fødevarer, vi dagligt indtager, og endelig modtager vi også ioniserende stråling fra vores egen krop, dels fra C-14, som vi optager i små doser når vi trækker vejret, samt dels fra de førnævnte madvarer, vi har indtaget, hvor isotoper som fx Cs-137 eller K-40 optages og bygges ind i vores knogler, tænder eller væv, og her afgiver små mængder stråling. Vi er ekstra udsat for ioniserende stråling, når vi fx er ude at flyve, da den kosmiske stråling her er kraftigere end ved landjorden, og endelig når vi får taget røntgenbilleder hos tandlægen eller lægen, bliver scannet i PET- eller CT-scannere eller modtager strålebehandling mod fx kræft. I Danmark har Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS) fastsat et maksimum på, hvad en indbygger må modtage af ioniserende stråling over et år. Dette maksimum ligger på 5 mSv pr. år (5 milli-Sivert pr. år). For personer, der pga. deres profession arbejder med ioniserende stråling: radiografer, læger, tandlæger, personale på atomkraftværker, fysik-/kemilærere mv., er strålingsniveauet hævet ift. almindelige borgere. Her er strålings-maksimummet på 20 mSv pr. år. SIS følger naturligvis løbende baggrundsstrålingen forskellige steder i Danmark, og holder naturligvis øje med radioaktive ulykker og udslip verden over.



Figur 9

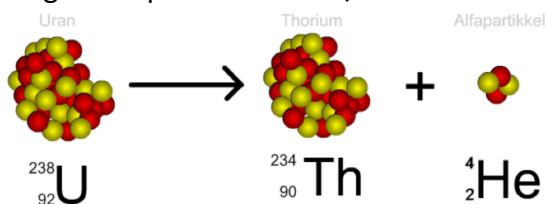
Ens for alle former for ioniserende stråling er, at der er tale om højfrekvent stråling (korte bølglængder), med meget høje energiniveauer – helt op til: 10.000.000.000.000 MeV for gammastrålings vedkommende! Dette store energioverskud vil de ioniserende isotoper gerne af med, og derfor henfalder de ved udsendelse af stråling som fx: alfa-, beta-, røntgen- eller gammastråling.

Alfa-, beta- og gammastråling.

Gennem naturfags- eller fysikundervisningen støder man typisk på ioniserende stråling med udgangspunkt i UV-stråling eller via alfa-, beta- og gammakilder. UV-stråling, røntgen- og gammastråling kan man finde i det elektromagnetiske spektrum, men der findes alfa- og betastråling ikke. Alle fire strålingstyper er ioniserende, men i modsætning til gamma og røntgen, er alfa- og betastråling ikke elektromagnetisk stråling, men i stedet det man kalder partikelstråling. Henfaldet (udsendelsen af stråling) foregår inde i atomkernen ved udsendelse af atomer eller partikler som elektroner eller positroner. Gamma- og røntgenkilder opfører sig som lys, når de henfalder, dog langt mere højfrekvent med meget kortere bølgelængder og med meget, meget højere energier (MeV). Forklaring følger:

Hvad er alfastråling?

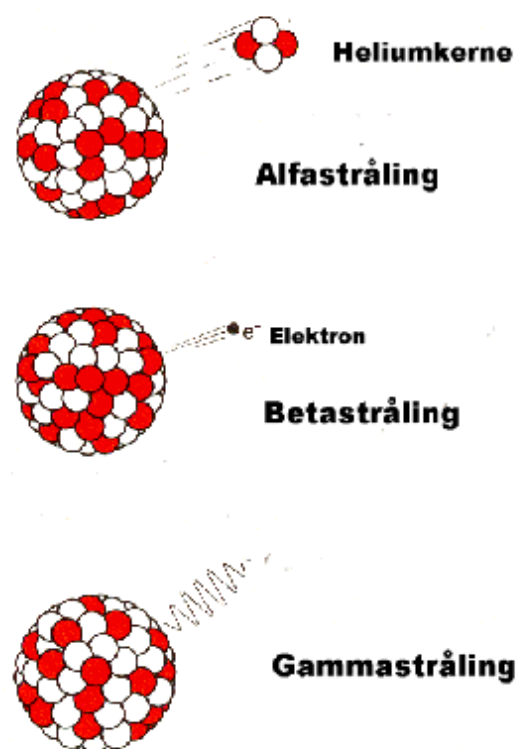
Hvis vi har en ustabil atomkerne, som fx U-238 herunder, med et stort energioverskud, vil denne forsøge at komme af med sit energioverskud, ved at udsende en heliumkerne inde fra sin atomkerne med meget fart på – 19.000 km/s.



Figur 10.

Inde i Uran-238 river 2 protoner og 2 neutroner sig løs og skydes afsted, og det er en sådan heliumkerne, man rammes af, hvis vi bliver bestrålet af alfapartikler. Resultatet bliver, at de to protoner og to neutroner forsvinder fra atomkernen, og som følge heraf sker der det man kalder en **grundstofforvandling**. Uran bliver i stedet til Thorium, da protontallet (det der bestemmer grundstoffet i DPS) falder med 2. Thorium-234 er ligesom Uran-238 også ustabil og henfalder også med alfastråling. Derfor skydes endnu en heliumkerne ud og Thorium-234 bliver til Radium-232 osv. Ud fra et isotopkort er det muligt at se, hvilke strålingstyper de forskellige grundstoffer og isotoper udsender, samt hvilke henfaldsrækker (henfaldsmønstre), de følger (jf. isotopkortet på figur 11).

Alfapartikler bremses meget hurtigt i luft. Her har de kun en rækkevidde på omkring 4 -10 cm, før de har afleveret alt deres overskydende energi til de omkringværende luftpartikler. De bremses også på overfladen af menneskekroppen, og er derfor også kun farlige, hvis de kommer ind i kroppen, fx ved indtagelse eller indånding. De isotoper, der udsender alfastråling er markeret med gult i isotopkortet.



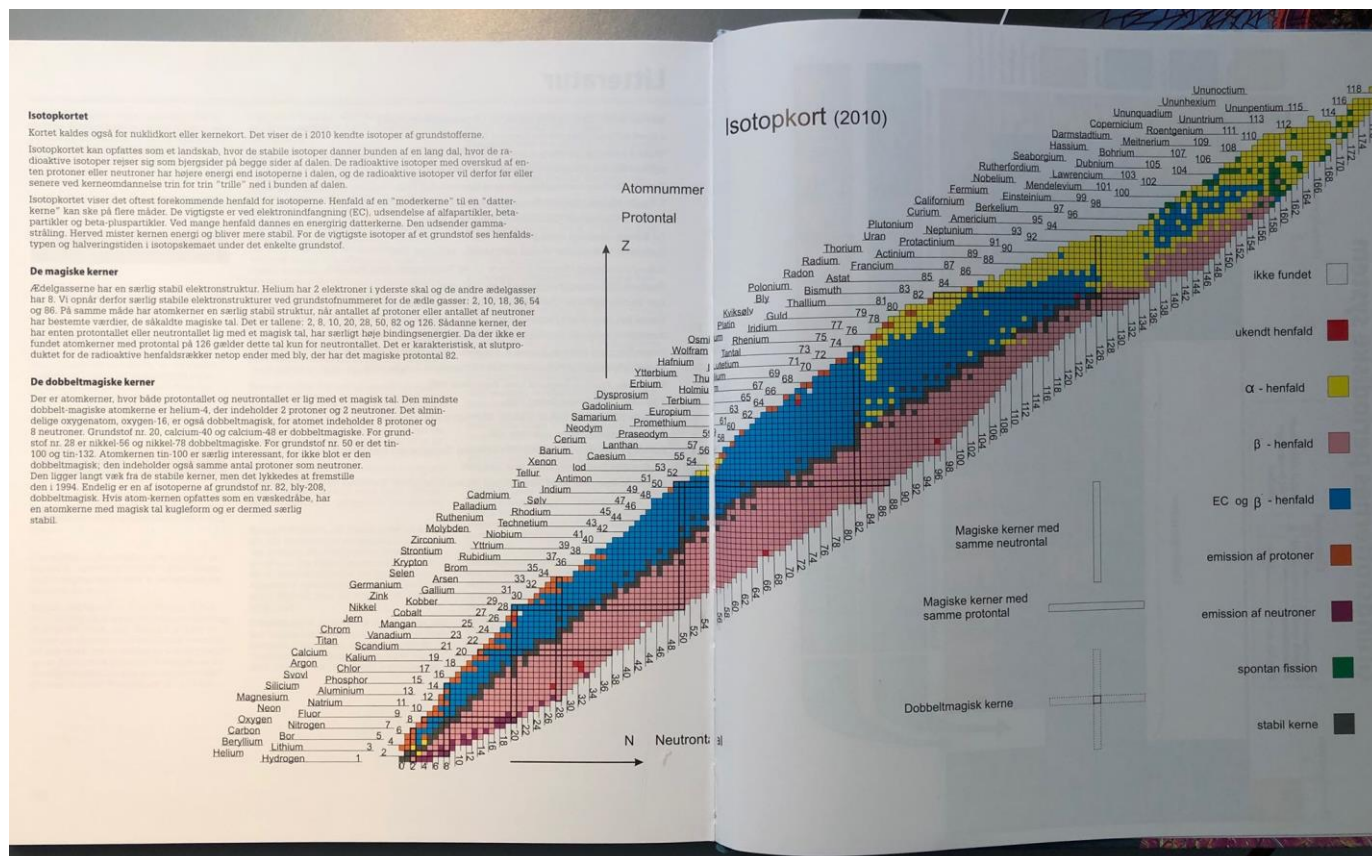


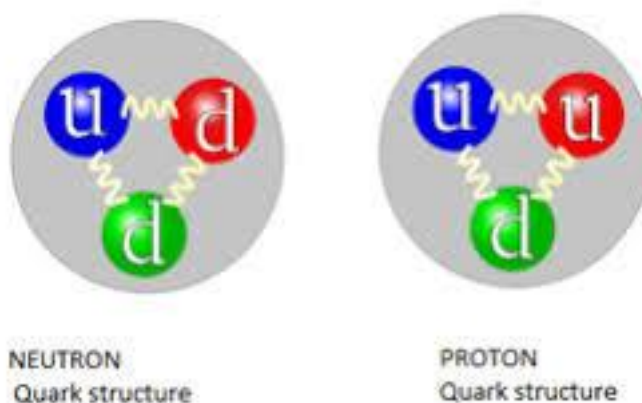
Figure 11.

Hvad er betastråling?

Der findes to typer af betastråling – beta-minus og beta-plus stråling. For at forstå denne type stråling, er man nødt til at kende lidt til teorien om kvarker:

Figure 12.

Neutroner og protoner er elementarpartikler, dvs. kernepartikler, men de er i virkeligheden sammensatte partikler – opbygget af en endnu mindre bestanddel kaldet kvarker. Der går 3 kvarker i dannelsen af et proton og et neutron, og sammensætningen af kvarker er her forskellig, for det er netop sammensætningen af *UP*-kvarker og *DOWN*-kvarker, der bestemmer elementarpartiklens ladning. Man kan sige, at hver kvark bærer en lille del af et neutrons eller et protons ladning. Som det ses på figur 12 er en neutron opbygget af en *UP*-kvark og to *DOWN*-kvarker. En proton af to *UP*-kvarker og en *DOWN*-kvark. Det giver ikke i sig selv mening, før man kender til forholdet imellem de to kvarktyper (jf. Figur 13)



	elektrisk ladning	1. generation	2. generation	3. generation
leptoner	- 1	 elektron	 myon	 tau-lepton
	0	 elektron-neutrino	 myon-neutrino	 tau-neutrino
kvarker	$+\frac{2}{3}$	 up	 charm	 top
	$-\frac{1}{3}$	 down	 strange	 bottom

Figur 13.

Som det ses i figur 13, findes der andre kvarker end *UP-* og *DOWN-kvarker* – andre generationer. Her kikker vi kun på de to typer af kvarker, der opbygger netop protonerne og neutronerne.

En *UP-kvark* har ladningen: $+\frac{2}{3}$

En *DOWN-kvark* har ladningen: $-\frac{1}{3}$

Vi har lært, at et neutron er neutral, altså har ladningen = 0. Vi ved ligeledes at en proton har ladningen = $+1$, men ud fra kvarkteorien forstår vi nu hvorfor:

Figur 14.

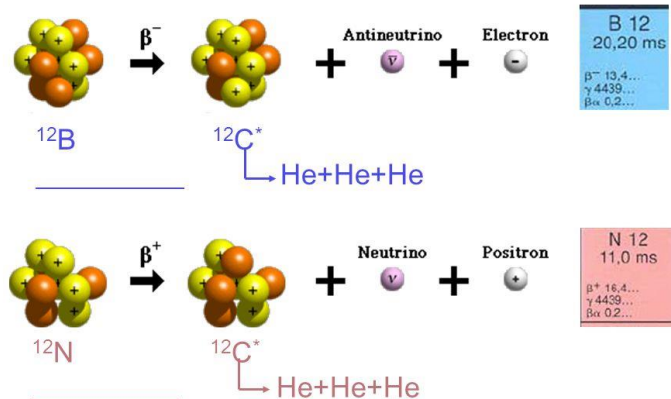
En neutron består som nævnt af 2 *DOWN-kvarker*

plus en *UP-kvark*: $(-\frac{1}{3}) + (-\frac{1}{3}) + \frac{2}{3} = 0$

Protonen består modsat af 2 *UP-kvarker* plus en *DOWN-kvark*: $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} + (-\frac{1}{3}) = \frac{3}{3} = +1$

En anden særlig egenskab hos kvarkerne er, at de konstant står og "sitrer" (vist med de gule bølger i figur 12). Indimellem laver de et "switch", dvs. "flipper rundt", hvorved fx en *UP-kvark* pludselig bliver til en *DOWN-kvark* eller omvendt. Hvis dette sker, ændrer en proton sig pludselig til en neutron eller omvendt, og det er lige præcis det, der sker ved beta-minus og beta-plus henfald. Som det ses i figur 14, henfalder B-12 (isotop af Bor) ved, at en neutron "switcher" til en proton under udsendelse af en elektron og en antineutrino*. Også her sker der en grundstoffervandling, da protontallet stiger med 1. Bor bliver herved i stedet til Carbon-12. Da det er en elektron (minusladning), der bliver skudt ud af kernen, og da det er den, man bliver ramt af, hvis man bestråles af betapartikler, hedder dette henfald også: beta-minus henfald/stråling. Ved beta-plus henfald er det det modsatte, der sker. En proton switcher til en neutron, hvorved der udsendes en positron (i

^{12}C fra β^- -henfald af ^{12}N og ^{12}B



virkeligheden en slags elektron dog med en positiv ladning i stedet) og en neutrino*. Herved ændrer protontallet sig med -1, og der sker en grundstofforvandling. Som det ses ud af figur 14, ændrer isotopen: N-12 sig til C-12. Neutrinoer og antineutrinoer er begge elementarpartikler ligesom en proton og en neutron. De er dog hinandens modsætning. Neutrinoer og antineutrinoer dannes kun under beta- og beta+ henfald, samt i solens indre, i atomreaktorer og i supernovaer ude i rummet. *Neutrinoer og antineutrinoer er universets og jordens hyppigst forekommende partikel (den mest almindelige), men alligevel fortsat den dårligst forståede – vi ved utrolig lidt om disse partikler. De er begge neutrale, og har endelsen: -ino, som indikerer "lille neutron". Denne endelse har de, fordi de er meget lettere partikler end netop neutronen. Samtidig minder de dog mest om netop denne.

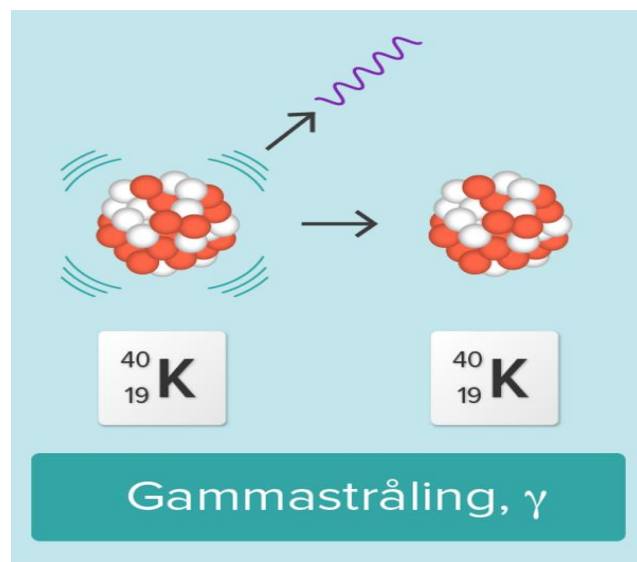
Ved betahenfald er det meget mindre partikler, man kan blive ramt af, end vi så det hos alfahenfald, hvor det var heliumkerner. Elektronerne og positronerne har dog både en langt højere hastighed, samt en meget længere rækkevidde end alfahenfald - omkring 300.000 km/sek. (lysets hastighed) og en rækkevidde på op til 1-3 m i luft. Betastråling kan være farlig også uden for den menneskelige krop. Den kan bevæge sig nogle millimeter ind i huden og bl.a. forårsage hudkræft, modernærkekræft mv., hvis man er eksponeret for kraftig betastråling over længere tid.

Hvad er gammastråling?

Gammastråling er den sidste af de tre strålingstyper, der findes i universet omkring os. Det er den strålingstype, der minder mest om røntgenstråling. Forskellen er, at strålingen fra et gammahenfald dannes inde i atomkernen og ikke ude i elektronskallerne, som er tilfældet for røntgen. Produktet – en foton – er dog det samme. Dog har fotonen (udsendt fra et gammahenfald) et langt højere energiniveau end hos en røntgenfoton. Gammastråling kan dannes på flere forskellige måder, men vil typisk optræde som et produkt af et alfa- eller betahenfald. En isotop kan nemlig fortsat være i en exciteret tilstand (energigig) efter at have udsendt et alfa- eller betahenfald, og derfor fortsat have brug for at komme af med den overskydende energi. En exciteret tilstand illustreres med et *.

På figur 15 ses Kalium-40*. K-40* er i en exciteret tilstand, og kommer af med den overskydende energi ved at skyde en foton (lysbølge) ud inde fra atomkernen. Herefter bliver K-40 mere stabil. Der sker ingen grundstofforvandling, da protontallet forbliver det samme.

Gammastråling er den farligste type stråling udenfor den menneskelige krop. Den har samme hastighed som lyset, og er jo i sig selv blot en foton (et lysglimt). Gammastråling går derfor nærmest usvækket gennem materialer som fx glas, beton, mursten og metal – ligeledes uhæmmet igennem det menneskelige væv. Det eneste, der kan bremse/stoppe gammastråling er >10 cm bly!



Figur 15

Den type gammastråling, der rammer jorden som kosmisk stråling, stammer fra kollapsede stjerner, dannelse af sorte huller og neutronstjerner i rummet.

Hvad er røntgenstråling (X-ray), og hvordan blev det opdaget?

Røntgenstråling er som nævnt en ioniserende strålingstype (ligesom alfastråling og betastråling jf. disse), der blev opdaget ved et tilfælde i 1895 af den tyske fysiker, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), som arbejdede ved universitet i Würzburg. Röntgen eksperimenterede med katodestråling – elektriske udladninger i vakuumglasrør med forskellige typer af fortyndede gasarter. Under et af forsøgene opdagede han, at en skærm – bestående af bariumplatinocyanid – som han havde liggende på skrivebordet ved siden af, lyste op med luminescens, hver gang han arbejdede med en bestemt type gas trods det, at vakuumrøret var pakket helt ind i sort pap. Strålingen trængte altså igennem. Kun bly og platin var uigennemtrængelig for den nye type stråling. Röntgen kunne tilmed se konturerne af sine knogler i hænderne, når han holdt hånden foran glasrøret og bariumpladen bag sin hånd. Men hjælp fra sin kone fik han taget det allerførste røntgenbillede. Det var af hendes hånd som blev bestrålet i 15 min. mod en fotografisk plade. Wilhelm Röntgen modtog som den første nogensinde, nobelprisen i fysik i 1901 for sin opdagelse af røntgenstråling.



Foto 2. Røntgenbillede af Anna Bertha Ludwigs hånd. Hun var Wilhelm Röntgens kone.



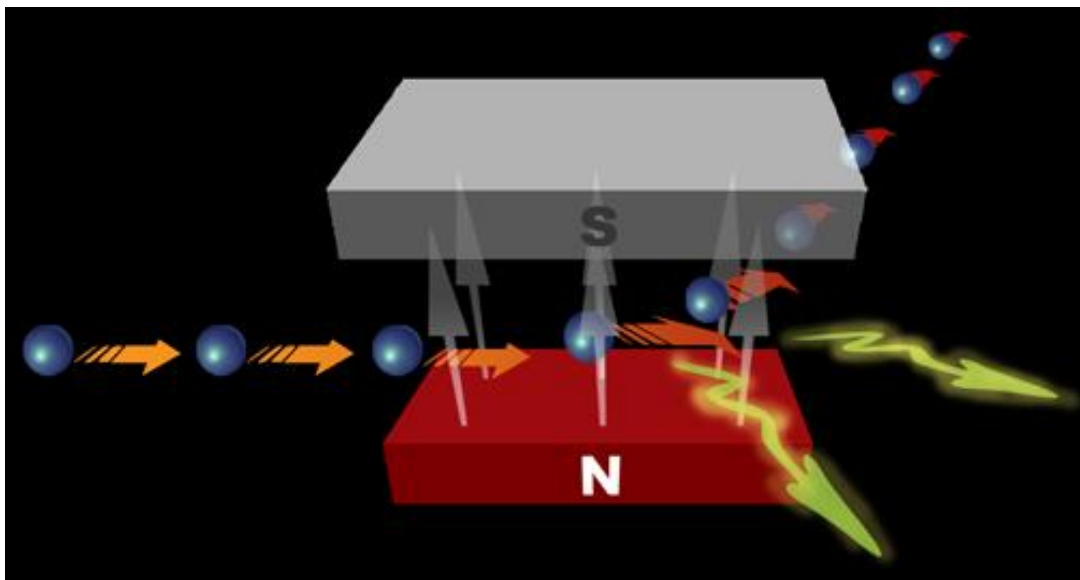
Foto 3. Wilhelm Röntgen 1901.

Hvordan dannes røntgenstråling?

Røntgenstråling udsendes, når elektroner bremses til at ændre hastighed (også kaldet bremsestråling - **Bremsstrahlung**), eller når en elektron springer fra en højere elektronskal til en lavere (et højere energiniveau til et lavere - **kollisionsstråling**).

Bremsestråling:

Når en elektron passerer tæt forbi et atom, kan den blive indfanget af atomets elektronsky. Hvis den ikke er tæt nok på atomet, vil elektronen i stedet tabe energi – tabe hastighed og ændre retning. Der sker med andre ord en opbremsning, og den energi overføres som fotonudsendelse (udsendelse af lys fx i form af røntgenstråling).



En elektron afbøjes i et magnetfelt og udsender energi som følge af opbremsningen. Herved dannes røntgenstråling.

Figur 16.

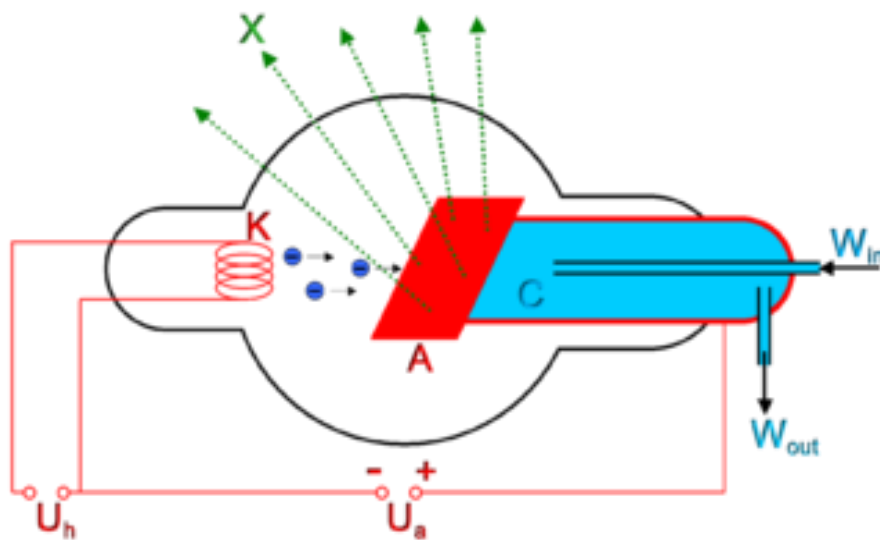
Kollisionsstråling:

Når atomer støder ind i (kolliderer med) andre partikler, kan de blive anslået (eller "exciteret" dvs. få tilført energi fra partiklen). Det benyttes bl.a. i røntgenapparater, hvor en fri elektron kolliderer med atomerne i anoden (se røntgenapparatet på figur 17), så en elektron i en af atomets indre skaller (orbitaler) springer ud i en skal højere oppe. Elektronen har altså fået tilført en masse energi, men hører ikke hjemme i den nye skal. Den er derfor ustabil og vil på et tidspunkt springe tilbage til sin egen skal. Det samme gør sig gældende, hvis elektronen skydes ud af atomet, da en elektron i en højere skal så vil tage dennes plads.

Idet en elektron springer fra en højere skal til en lavere, udsendes den overskydende energi som lys med en bølglængde svarende til energiforskellen mellem de to skaller. Hvis energiforskellen er stor nok, bliver det til røntgenstråling.

Hvordan virker et røntgenrør?

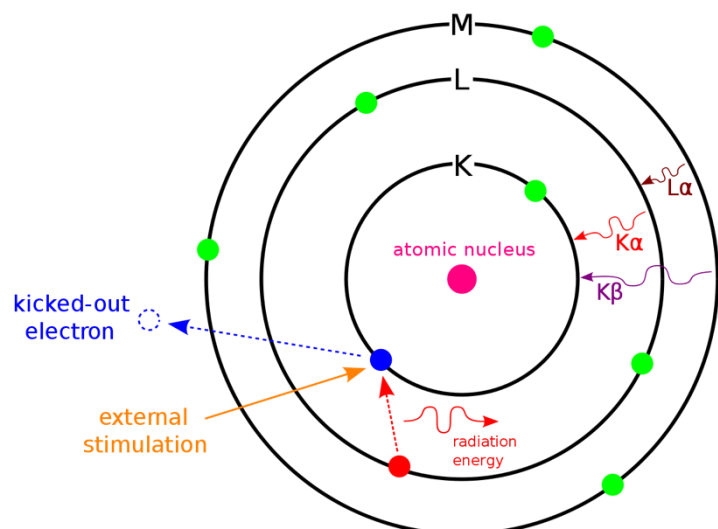
Et røntgenrør består af et vakuumkammer indeholdende en katode (+pol), eksempelvis en glødetråd fra hvilken, elektroner strømmer ud, og en anode (-pol), hvor elektroner strømmer ind. Anoden er ofte lavet af tungsten og er placeret i en vinkel således, at røntgenstrålingen delvist er ensrettet og kan passere gennem en åbning med et filter. Den stråling, der ikke rammer filteret, bliver absorberet i den omgivende blybeholder.



Figur 17.

U er spændingsforskellen henover røret (højspænding), for at elektronerne kan opnå så høj en hastighed, at der kan dannes røntgenstråling. W indikerer kølemidlets vej ind og ud af systemet og X den røntgenstråling, der bliver dannet. Kølemidlets funktion er, at køle anoden og hele processen ned. Elektronerne accelereres til så høj en hastighed, at der bliver afgivet så megen termisk energi (varmeenergi) mod anoden, at den uden kølemiddel ville smelte. C er filteret, der ensretter strålingen, så den kun bevæger sig i en retning. Det er vigtigt af sikkerhedsmæssige årsager ift. strålespredning. Røntgenrøret virker naturligvis kun, når det får tilført energi i form af elektricitet. På atomar plan ser processen således ud:

Figur 18.



Hvordan virker XRF-scanneren?

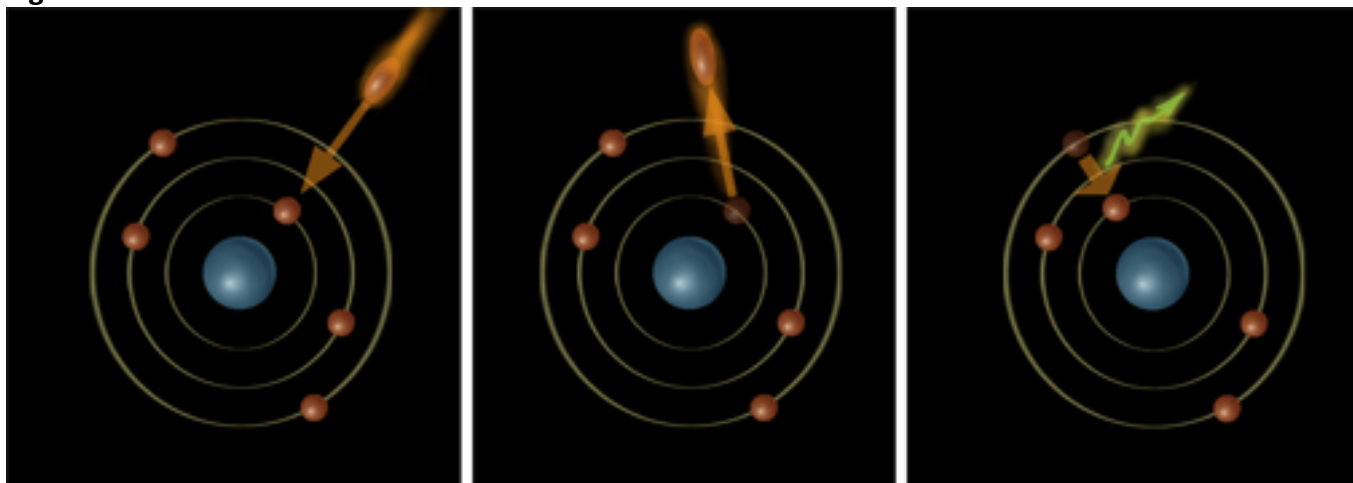
XRF står for X-Ray (Røntgen) Fluorescens. Når et uorganisk materiale bestråles med røntgen fra XRF-scanneren, skydes en elektron fra atomerne i materialets indre skaller (fx K-skallen/orbitalen) ud, hvorefter en elektron fra en af atomernes ydre skaller springer ind og erstatter den manglende elektron. Alt efter hvor langt væk skallen ligger fra K-skallen, kaldes springet enten for K-alfa, eller K-beta (jf. Figur 20). Springet på figuren herunder (Figur 19) er derfor et K-beta spring, og resultatet af et sådant spring kaldes overordnet for fluorescens. Fluorescens er en slags "genudsendelse" af den røntgenstråling, der blev udsendt til at starte med, bare med lavere energi. Den tilbagekastning af energi, der sker fra de enkelte atomer til XRF-scanneren, vil være forskellig fra grundstof til grundstof, og det bliver derfor til et helt særligt "fingeraftryk", hvorved det er muligt at bestemme de forskellige grundstoffer i forskellige materialer. Det kan fx være museumsgenstande eller fund.

1. Røntgenstråling rammer en elektron i et atoms inderste skal.

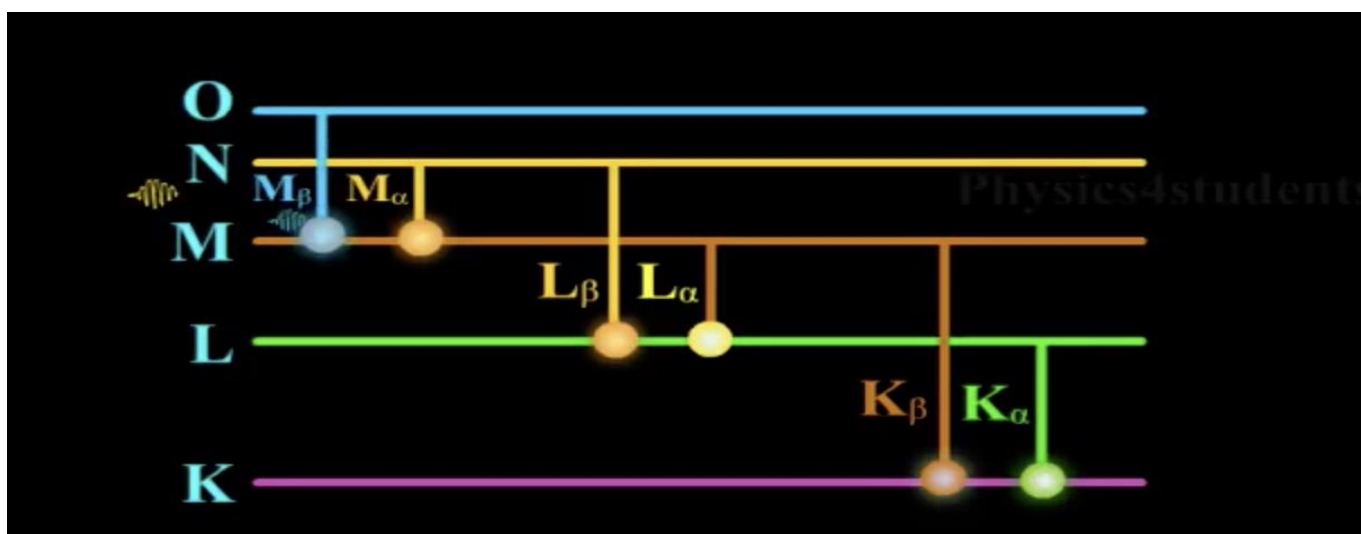
2. Elektronen skydes ud af atomet.

3. En elektron fra en ydre skal springer ind og erstatter den manglende elektron og udsender sin overskydende energi i form af røntgen fluorescens.

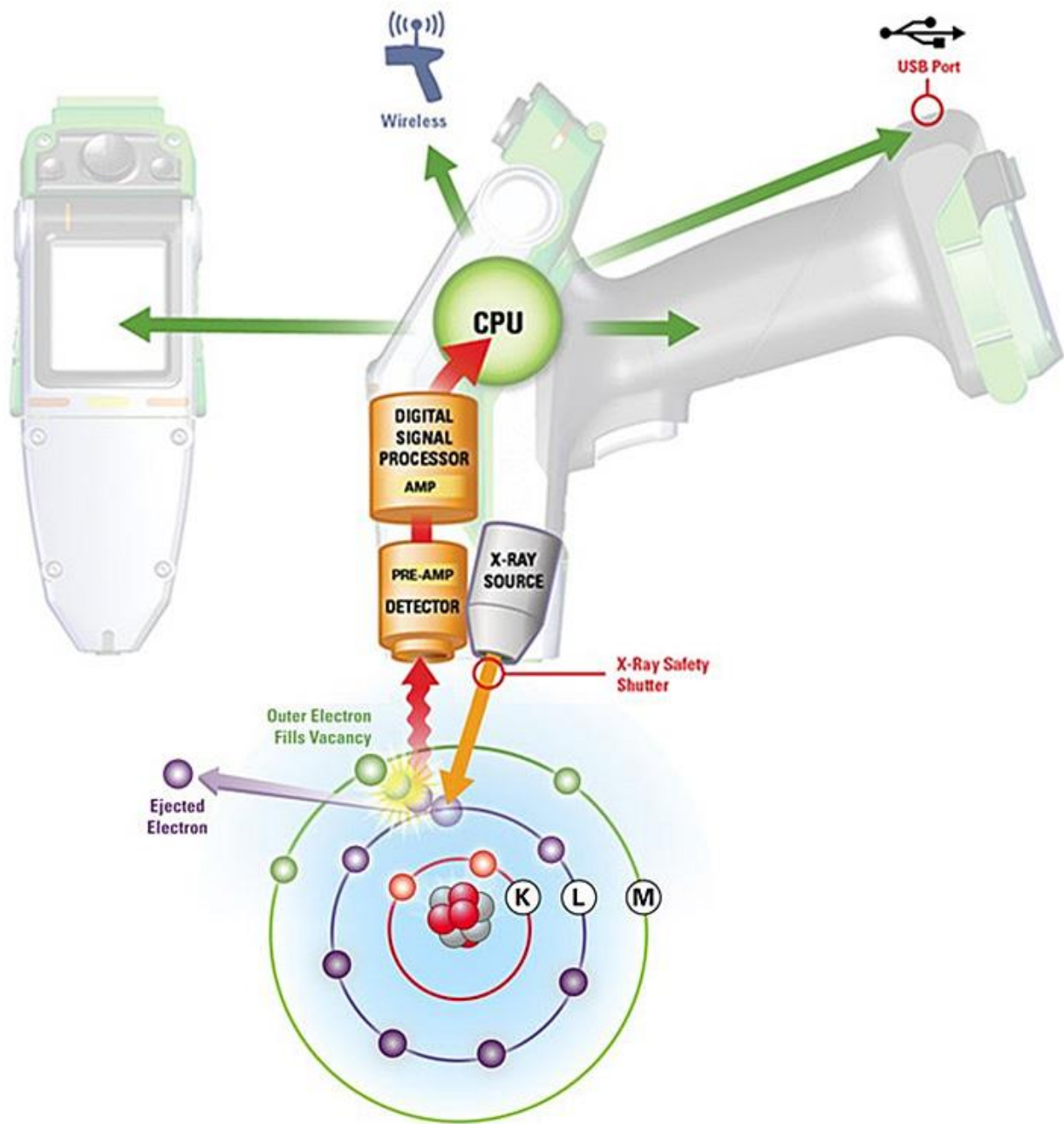
Figur 19.



Figur 20.



XRF-scanneren set indefra.



Figur 21.

Her vist ud fra XRF-scanneren. Røntgenkilden i denne er en isotop af grundstof nr. 45: Rhodium.

Kort om fluorescens.

Fluorescens ligger inde under begrebet **luminescens** (*koldt lys*), og er en fællesbetegnelse for en række fysiske fænomener, hvor et materiale genudsender lys – **er selvlysende** (ofte synligt lys) ud fra andre mekanismer end varmestråling. Der findes forskellige former for selvlys fx: triboluminescens, bioluminescens, sonoluminescens, fosforescens og fluorescens.

Triboluminescens kan man opleve, når man åbner en konvolut. Gør man det i et mørkt rum, vil limen imellem de sammenklæbede papirflader lyse op, når den trækkes fra hinanden – elektroner fra de enkelte atomer i limen, rives ud af deres elektronskal, og hopper efter ganske kort tid tilbage igen, hvorved energiforskellen udsendes som lys. Det samme kan opleves, hvis man tygger på en sukkerknald i et mørkt rum. Her rives elektronerne i de enkelte sukkermolekyler også ud af deres skaller og springer tilbage igen. Bioluminescens oplever vi inden for biologien – fx udsender ildfluer og andre insekter, nogle typer af fisk, alger (*Noctiluca scintillans*) og forskellige gopler også selvlys, for at øge deres overlevelseshancer, eller for at tiltrække det modsatte køn.

Sonoluminescens kan man opleve som udsendelsen af små lysimpulser, når man udsætter små gasbobler i en bestemt væske for ultralyd. Når denne proces forløber, imploderer gasboblerne og lys udsendes. Fosforescens oplever vi fx i de plastikstjerner, der hænger på mange børneværelser, div. malingstyper, der lyser op, når de rammes af UV-stråling, eller i de "knæk-lys", man kan købe på div. festivalspladser. Her "knækker" man et rør, hvori forskellige kemikalier bl.a. fosfor, er opdelt fra hinanden i form af en lille glasplade. Når de forskellige kemikalier i røret blandes, dannes der en kemisk reaktion, og røret lyser op i en kortere eller længere periode.

Fluorescens minder i høj grad om fosforescens, ift. udsendelsen af lys, samt i den måde energien og derved bølglængden på det indkommende lys ændres fra en høj frekvens til en lavere (fx fra UV-lys til synligt lys). Man skelner dog mellem fosforescens og fluorescens ud fra den tidsforskel, der er mellem absorptionen af det indkommende lys til reemissionen/udsendelsen af selvlyset. Ved fluorescens sker absorption og reemission næsten omgående. Ved fosforescens med en forsinkelse på mere end 10^{-8} sek. Det lyder måske ikke af meget, men det er en stor og afgørende forskel. Ift. XRF-scanneren oplever vi slet ikke noget selvlys – dels er den genstand, vi gerne vil undersøge i et lukket rum (bæger), og dels fordi vi ville være nødt til at tilsætte et sporestof i bægeret, hvis vi gerne ville kunne se, sporene af strålingen.

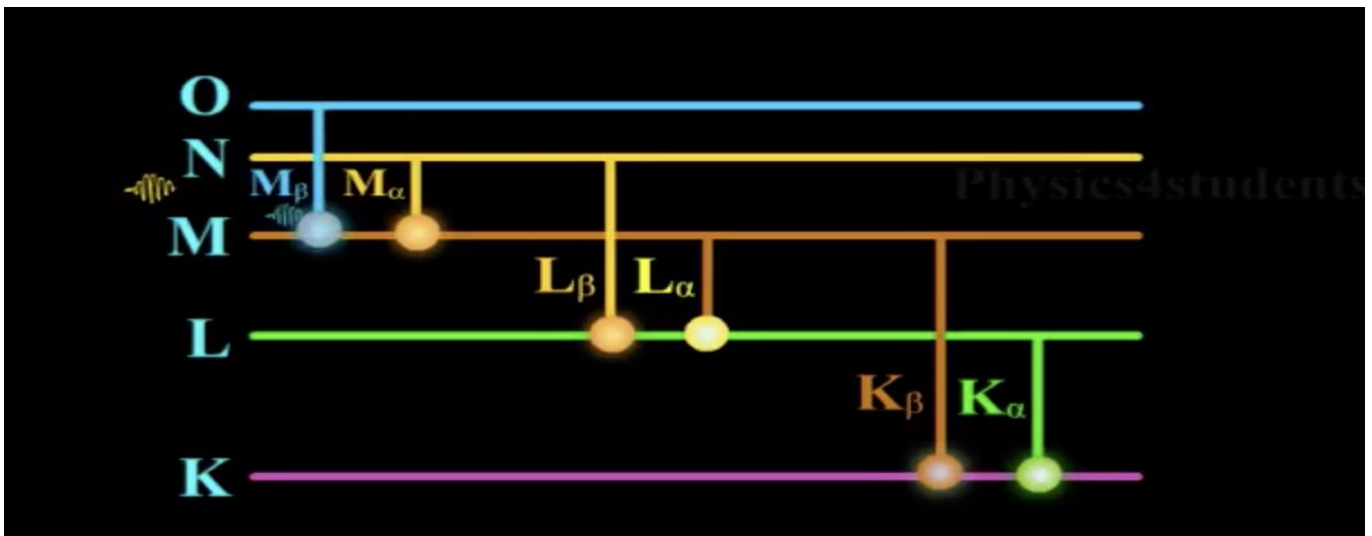
Foto 4.



Foto 5.

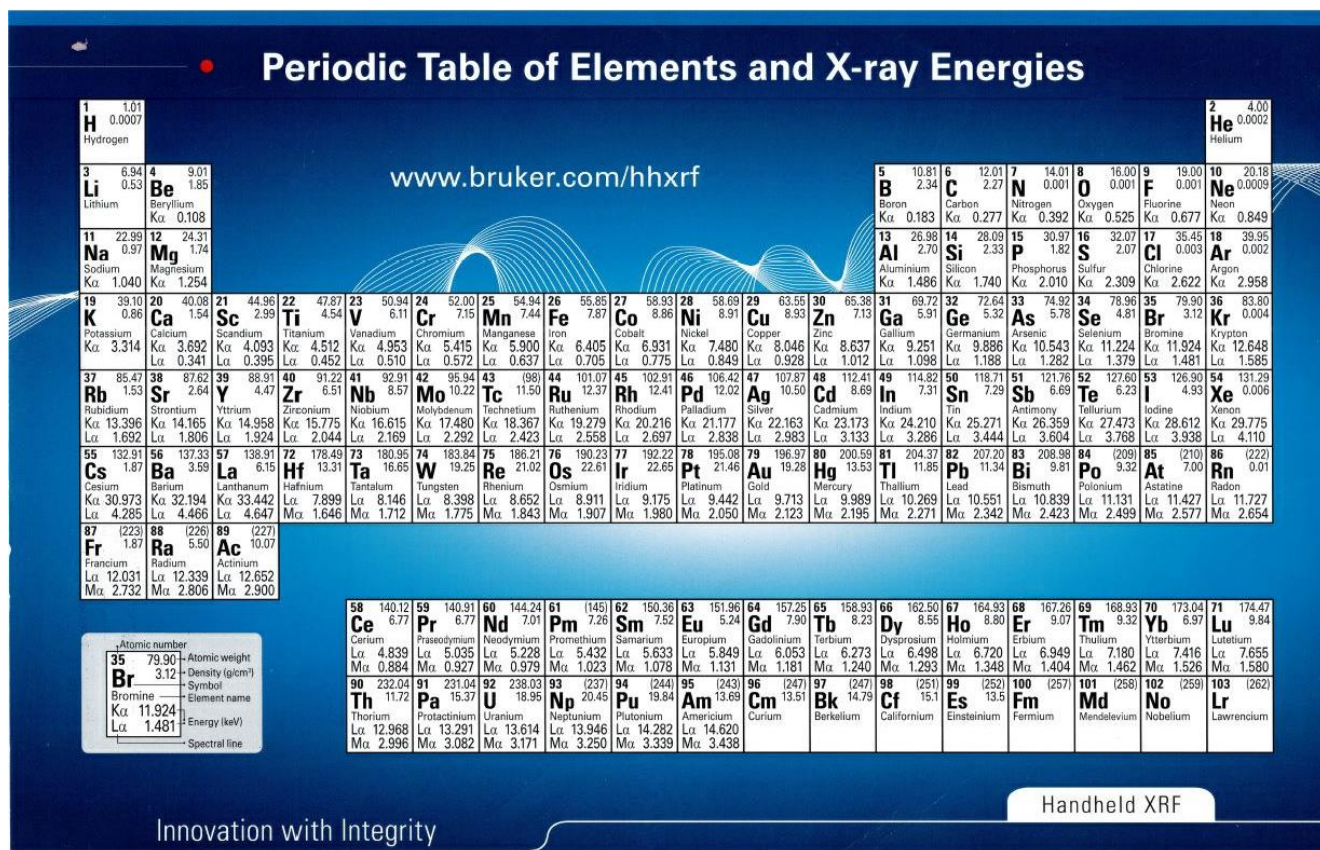


Kort om røntgenspektrets elektronspring i Figur 20.



Nederst til venstre ses den 1. skal/orbital i periode 1 – K-skallen. Ovenover L-skallen osv. Hver gang vi bevæger os en linje op, springer vi en skal ud, altså en skal væk fra atomkernen. Jo længere vi kommer ud, des højere et energiniveau opnår vi. R-skallen er den mest energirige (den 7. Skal). Det vil derfor også betyde, at når elektroner springer ud fra en mere energirig skal ind til en mindre energirig, så skal de på en eller anden måde af med energioverskuddet – energiforskellen. Det gør de ved fx at udsende lys. Alt efter, hvilken bølgelængde de er blevet anslået/exciteret af, bliver energiforskellen enten lille – fx med udsendelse af IR-stråling (varmestråling) eller synligt lys, eller energiforskellen kan være stor – ligesom tilfældet er ved XRF-scanneren, hvorved der igen udsendes røntgenstråling, dog med en lidt lavere bølgelængde end den først anslåede.

Hvis vi starter længst til venstre, kan vi se en blå streg, der indikerer, at en elektron springer fra O-skallen og ned til M-skallen (altså ind mod atomkernen). Fordi elektronen springer ind og rammer elektronskyen i M-skallen, kaldes springet for M, og fordi den springer hele to spring (over to skaller), kommer den til at hedde β – beta (2. Bogstav i det græske alfabet, altså nr. 2). Springer den i stedet fra N-skallen og ind til M, er elektronen jo kun en skal fra den gule streg. Elektronspringet kommer derfor stadig til at hedde M, fordi det er der elektronen havner, men nu α – alfa efter det første bogstav i det græske alfabet (nr. 1). Det er viden om disse elektronspring man udnytter ift. XRF-scanneren. Ud fra et Periodisk System, hvori røntgenenergieerne er angivet, kender vi alle værdierne for de enkelte grundstoffers elektronspring, når de exciteres af røntgenstråling (jf. figur 22). Når man finder tilsvarende energiniveauer som *peaks* (høje udsving – toppunkter) i det emissionsspektrum, som XRF-scanneren opfanger, så kan man bestemme de enkelte grundstoffer og med sikkerhed vide, at de er repræsenteret i det fund, eller den genstand, man undersøger. Man har med andre ord brug for at kende DPS indgående, samt have baggrundsviden om elektromagnetisk stråling, røntgenstråling, luminescens mv., for at kunne forstå, hvordan XRF-scanneren virker, samt for at være i stand til at tyde emissionsspektret efterfølgende.



Handheld XRF

Innovation with Integrity

Det Periodiske System med nogle af de tilhørende røntgenenergier angivet.

Figur 22.

Et eksempel:

På foto 6 ses en XRF-scanning foretaget på et rokokko-spejl.

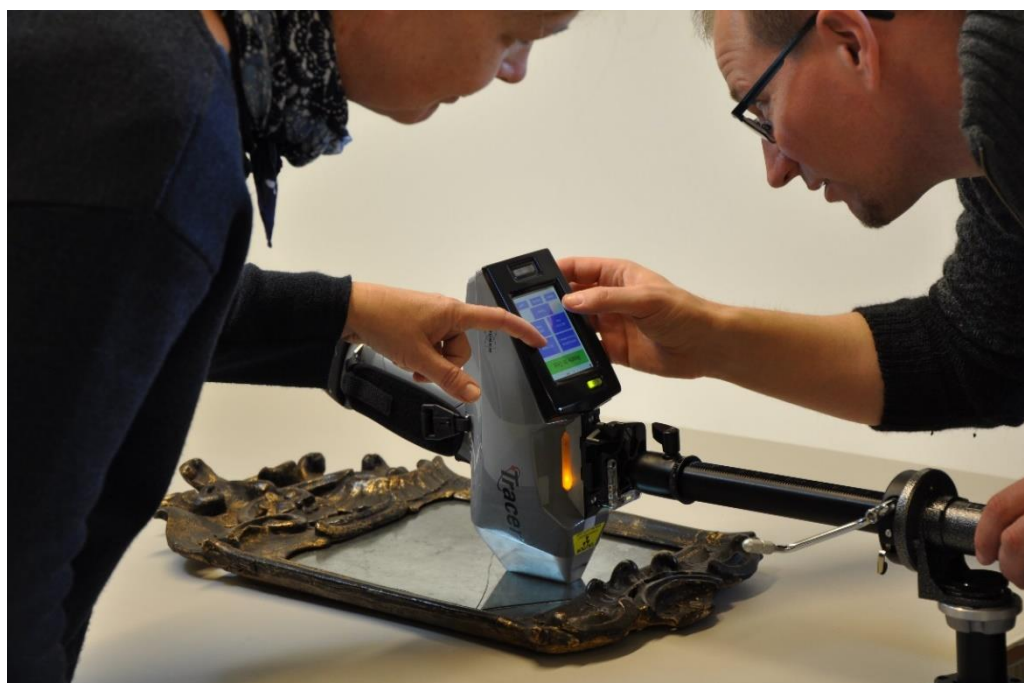
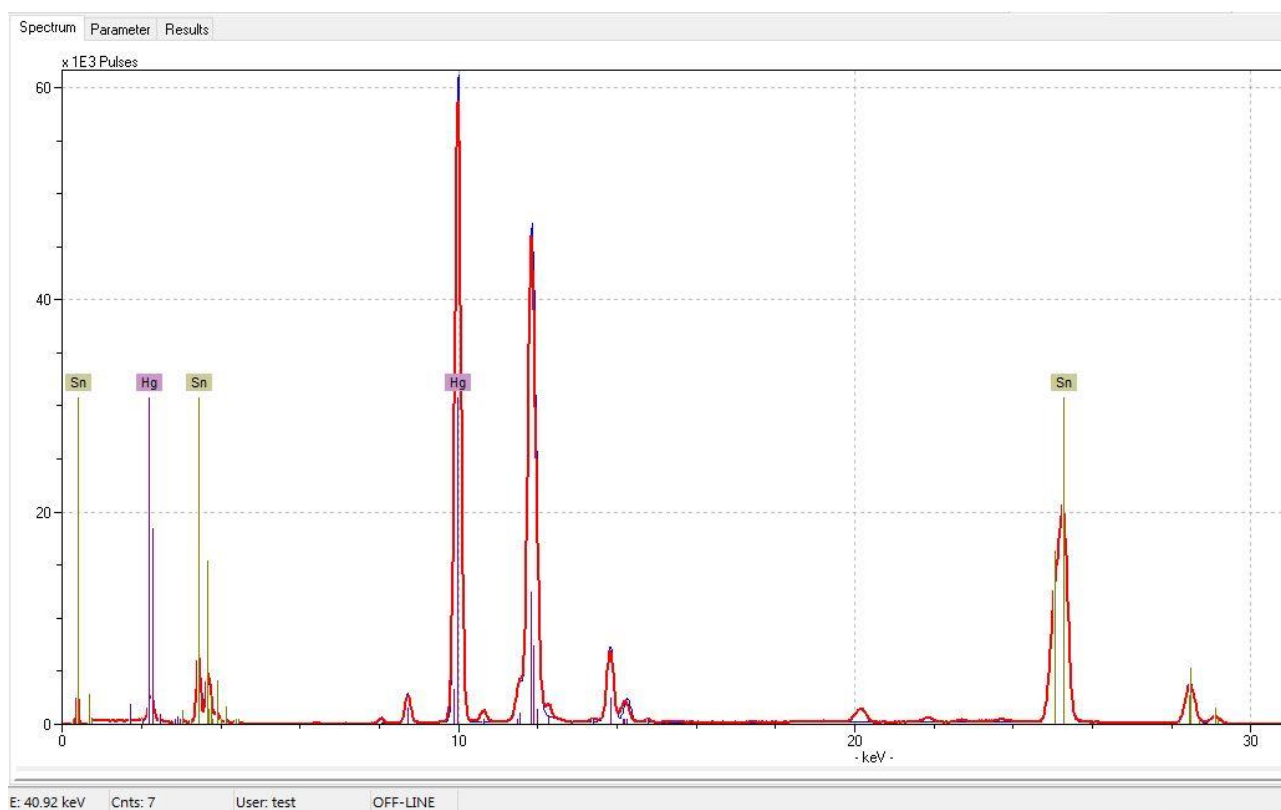


Foto 6.

På figur 23 herunder ses det emissionsspektrum, som XRF-scanneren sender til computeren ud fra XRF-analysen af spejlet.



Figur 23.

De røde *peaks* indikerer, at spejlet indeholder store mængder af Hg – kviksølv. De øvrige *peaks* indikerer andre grundstoffer som fx Sn – Tin. Specielt Hg skal man være meget opmærksom på i håndteringen af spejlet, især som konservator, da Hg er et tungmetal, der dels kan trænge gennem huden, og dels udsender giftige dampe ved 20 grader celsius.

Når man grundstofbestemmer fund og andre genstande, skal man sikre sig, at energierne fra fluorescens af røntgenstrålingen stemmer overens med værdierne i en liste som på figur 24. Lad os som eksempel tage udgangspunkt i Hg (grundstof nr. 80 i DPS). På spektret i figur 23 ovenover aflæses værdierne for Hg til hhv. ca. 2.2 keV (fra venstre – jf. det lille, røde *peak* med det lyserøde felt ovenover, der indikerer Hg), og igen ved ca. 9.9 keV og 11.8 keV (de store røde *peaks* ved siden af hinanden, ligeledes med et lyserødt felt ovenover *peaket* t.v., hvori der står Hg). Når man kikker efter i listen med røntgenenergiene, kan man under Hg aflæse, at for at dette grundstof er repræsenteret, så skal værdierne for tilbagekastning fra L-skallen være: 9.989 keV (L-alfa) og 11.824 keV (L-beta). Begge værdier skal tilmed være tilstede, før der er tale om kviksølv i fundet. Det er det i ovenstående tilfælde, altså er der kviksølv i det pågældende spejl. Det bliver yderligere bekræftet af *peaks* fra spring til M-skallen, som ligger ved hhv. 2.195 (M-alfa) og 2.281 keV (M-beta).

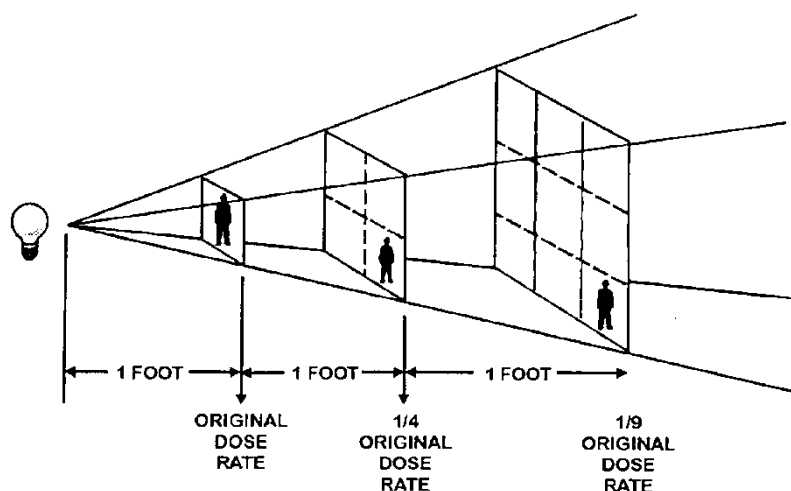
Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	Z	Element	K α_1	K β_1	L α_1	L β_1	M α_1	M β_1
3	Li Lithium					34	Se Selenium	11.224	12.497	1.379	1.419	65	Tb Terbium	44.482	50.385	6.273	6.975	1.240	1.269
4	Be Beryllium	0.108				35	Br Bromine	11.924	13.292	1.481	1.526	66	Dy Dysprosium	45.999	52.113	6.498	7.248	1.293	1.325
5	B Boron	0.183				36	Kr Krypton	12.648	14.112	1.585	1.636	67	Ho Holmium	47.547	53.877	6.720	7.526	1.348	1.383
6	C Carbon	0.277				37	Rb Rubidium	13.396	14.961	1.692	1.751	68	Er Erbium	49.128	55.674	6.949	7.811	1.404	1.448
7	N Nitrogen	0.392				38	Sr Strontium	14.165	15.835	1.806	1.871	69	Tm Thulium	50.742	57.505	7.180	8.102	1.462	1.503
8	O Oxygen	0.525				39	Y Yttrium	14.958	16.739	1.924	1.998	70	Yb Ytterbium	52.388	59.382	7.416	8.402	1.526	1.573
9	F Fluorine	0.677				40	Zr Zirconium	15.775	17.668	2.044	2.126	71	Lu Lutetium	54.070	61.290	7.655	8.710	1.580	1.630
10	Ne Neon	0.849				41	Nb Niobium	16.615	18.625	2.169	2.260	72	Hf Hafnium	55.790	63.244	7.899	9.023	1.646	1.700
11	Na Sodium	1.040				42	Mo Molybdenum	17.480	19.606	2.292	2.394	73	Ta Tantalum	57.535	65.222	8.146	9.343	1.712	1.770
12	Mg Magnesium	1.254	1.302			43	Tc Technetium	18.367	20.626	2.423	2.535	74	W Tungsten	59.318	67.244	8.398	9.672	1.775	1.838
13	Al Aluminium	1.486	1.557			44	Ru Ruthenium	19.279	21.656	2.558	2.683	75	Re Rhenium	61.141	69.309	8.652	10.010	1.843	1.906
14	Si Silicon	1.740	1.837			45	Rh Rhodium	20.216	22.724	2.697	2.834	76	Os Osmium	63.000	71.414	8.911	10.354	1.907	1.978
15	P Phosphorus	2.010	2.139			46	Pd Palladium	21.177	23.818	2.838	2.990	77	Ir Iridium	64.896	73.560	9.175	10.708	1.980	2.052
16	S Sulfur	2.309	2.465			47	Ag Silver	22.163	24.941	2.983	3.150	78	Pt Platinum	66.831	75.750	9.442	11.071	2.050	2.127
17	Cl Chlorine	2.622	2.812			48	Cd Cadmium	23.173	26.093	3.133	3.315	79	Au Gold	68.806	77.982	9.713	11.443	2.123	2.203
18	Ar Argon	2.958	3.190			49	In Indium	24.210	27.275	3.286	3.487	80	Hg Mercury	70.818	80.255	9.989	11.824	2.195	2.281
19	K Potassium	3.314	3.590			50	Sn Tin	25.271	28.485	3.444	3.663	81	Tl Thallium	72.872	82.573	10.269	12.213	2.271	2.363
20	Ca Calcium	3.692	4.013	0.341	0.345	51	Sb Antimony	26.359	29.725	3.604	3.842	82	Pb Lead	74.970	84.939	10.551	12.614	2.342	2.444
21	Sc Scandium	4.093	4.464	0.395	0.400	52	Te Tellurium	27.473	30.993	3.768	4.029	83	Bi Bismuth	77.107	87.349	10.839	13.023	2.423	2.526
22	Ti Titanium	4.512	4.933	0.452	0.458	53	I Iodine	28.612	32.294	3.938	4.221	84	Po Polonium	79.291	89.803	11.131	13.446	2.499	2.614
23	V Vanadium	4.953	5.428	0.510	0.518	54	Xe Xenon	29.775	33.620	4.110	4.418	85	At Astatine	81.516	92.304	11.427	13.876	2.577	2.699
24	Cr Chromium	5.415	5.947	0.572	0.582	55	Cs Cesium	30.973	34.982	4.285	4.619	86	Rn Radon	83.785	94.866	11.727	14.315	2.654	2.784
25	Mn Manganese	5.900	6.492	0.637	0.648	56	Ba Barium	32.194	36.378	4.466	4.828	87	Fr Francium	86.106	97.474	12.031	14.771	2.732	2.868
26	Fe Iron	6.405	7.059	0.705	0.718	57	La Lanthanum	33.442	37.797	4.647	5.038	88	Ra Radium	88.478	100.130	12.339	15.236	2.806	2.949
27	Co Cobalt	6.931	7.649	0.775	0.790	58	Ce Cerium	34.720	39.256	4.839	5.262	89	Ac Actinium	90.884	102.846	12.652	15.713	2.900	3.051
28	Ni Nickel	7.480	8.267	0.849	0.866	59	Pr Praseodymium	36.027	40.749	5.035	5.492	90	Th Thorium	93.351	105.605	12.968	16.202	2.996	3.149
29	Cu Copper	8.046	8.904	0.928	0.947	60	Nd Neodymium	37.361	42.272	5.228	5.719	91	Pa Protactinium	95.868	108.427	13.291	16.703	3.082	3.240
30	Zn Zinc	8.637	9.570	1.012	1.035	61	Pm Promethium	38.725	43.827	5.432	5.961	92	U Uranium	98.440	111.303	13.614	17.220	3.171	3.336
31	Ga Gallium	9.251	10.267	1.098	1.125	62	Sm Samarium	40.118	45.414	5.633	6.201	93	Np Neptunium	101.059	114.234	13.946	17.751	3.250	3.435
32	Ge Germanium	9.886	10.982	1.188	1.218	63	Eu Europium	41.542	47.038	5.849	6.458	94	Pu Plutonium	103.734	117.228	14.282	18.296	3.339	3.534
33	As Arsenic	10.543	11.726	1.282	1.317	64	Gd Gadolinium	42.996	48.695	6.053	6.708	95	Am Americium	106.472	120.284	14.620	18.856	3.438	3.646

Liste over grundstofferne med de vigtigste karakteristiske energiværdier for de forskellige elektron-spring efter excitering med røntgenstråling (røntgenfluorescens). **Figur 24.**

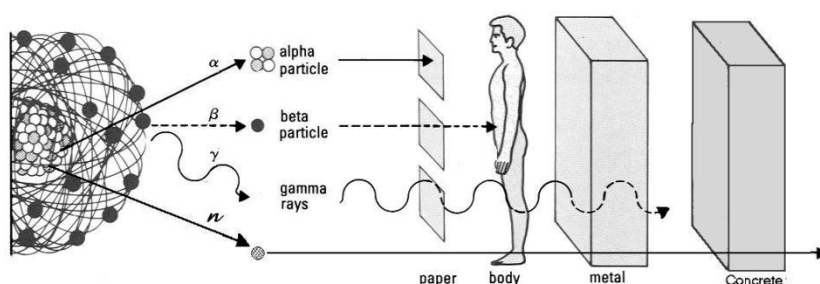
Sikkerhed omkring XRF-scanneren.

Da apparatet udsender røntgenstråling, som er ioniserende og derved kan have en skadelig virkning på kroppens celler, er der nogle sikkerhedsprocedurer, der naturligvis skal følges omkring betjeningen af apparatet.

- 1) **Sikkerhedsafstand.** Når XRF-scanneren er i funktion, bør man opholde sig på så lang afstand til apparatet, som muligt – ideelt set bag en særlig sikkerhedsmur. Man bør ligeledes – når det er muligt – betjene scanneren via computeren og ikke på apparatet selv.



- 2) **Tilstedeværelse under scanninger.** Imens der foretages scanninger, bør kun personer, der betjener apparatet være til stede. Ligeledes bør ingen befinde sig direkte hverken over eller under scannerens røntgenkilde, ej heller på etager over eller under apparatet. Røntgen stoppes nemlig hverken af de fleste metaller, beton eller andre byggematerialer.



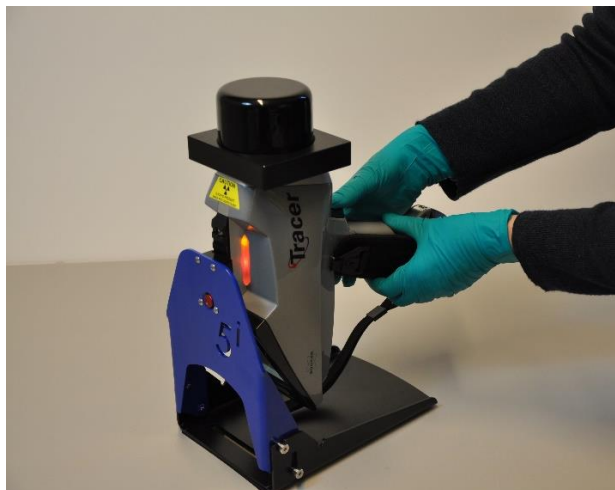
- 3) **Sikkerhedsudstyr.** Når der foretages scanninger, hvor røntgenkilden peger opad, skal denne tildækkes med det dertilhørende sikkerhedslåg, så unødigt røntgenstråling bremses mest muligt. Man bør ligeledes anvende sikkerhedsudstyr som: blyforklæde, sikkerhedsbriller og handsker når apparatet er i funktion for at begrænse påført stråling mest muligt.
- 4) **Stikprøver ift. strålingsdosis.** Personale, der dagligt betjener røntgenudstyr bør jævnligt undersøges ift. absorberet strålingsdosis. Dette kan gøres let via et dosimeter.

Hvad kan man bruge en XRF-scanner til?

Når man gerne vil vide hvilke byggesten, altså grundstoffer en genstand (et fund) er lavet af, findes der forskellige analysemetoder. XRF- (røntgenfluorescens) analyse er en af dem. Metoden man vælger, afhænger dels af hvad præcist man vil finde ud af, om man kan udtage en prøve af genstanden, om analysen kan ske på laboratorie eller skal foretages i felten, i hvilken tilstand materialet foreligger og hvor meget tid og penge man har til rådighed til undersøgelsen.

Med en håndholdt XRF-scanner kan man f.eks. identificere metaller og metallegeringer, glastyper, farvestoffer i glas, pigmenter i maling eller glaserings, keramik og sten, heriblandt smykkesten. Man kan sågar se om et materiale er behandlet med visse pesticider som fx arsenik.

XRF-scanneren tilbagekaster (som vist tidligere) et spektrum, som kan aflæses på skærmen eller en tilsluttet computer. Ud fra spektret kan man bestemme genstandens grundstoffer.



Et arkæologisk metalfund bliver lagt på XRF-scanneren (**Foto 7.**) og afskærmet fra omgivelserne med et strålingsabsorberende låg under analysen (**Foto 8.**)

XRF-metoden kan bruges både **kvalitativt** og **kvantitativt**. Det vil sige man kan undersøge **hvilke** grundstoffer en genstand består af, og man kan undersøge **hvor meget** af de grundstoffer, der er i genstanden. Hvis man vil undersøge, hvor meget der er af forskellige grundstoffer, skal apparatet være indstillet til det. Det betyder, at man sammenligner analyseresultaterne med på forhånd nøje kendte materialesammensætninger (**standarder**) og omregner resultaterne til tal. Selve højden på spektrets toppe er nemlig ikke direkte proportionalt med mængden af de forskellige grundstoffer i materialet!

Når man vælger at bruge XRF som analysemetode især til arkæologiske genstande, skal man være klar over, at det er en overfladeanalyse. Det vil sige, at hvis overfladen er omdannet til f.eks. korrosion (ir eller rust), svarer det resultat man får ikke nødvendigvis helt til de grundstoffer, genstanden oprindeligt er lavet af. Genstande, der har været begravet i jorden, kan f.eks. optage andre grundstoffer fra jorden, som så dukker op i analyseresultatet. Her kan det være bedst at fjerne korrosionen inden analysen. På den anden side kan de grundstoffer, som genstanden har

optaget, være med til at fortælle mere om fundstedet. Bl.a. kan jordprøver analyseres med XRF og opspore steder, hvor der tidligere har været menneskelig aktivitet.

Forholdet mellem forskellige grundstoffer i genstande kan også ændre sig. F.eks. kan en analyse af overfladen på arkæologiske bronzegenstande, der består af kobber og tin, vise at overfladen indeholder mere tin, end hvis man udtager en prøve længere inde i genstanden. Det er fordi tin er mindre stabilt end kobber, så det bliver lettere opløst, hvorefter det kan "vandre" og sætte sig som en ny, ikke synlig overflade, oven på den oprindelige.

Hvis man vil lave en kvantitativ analyse, er det derfor bedst at udtage en prøve længere inde i genstanden. Samtidig skal apparatet være udstyret med et bibliotek, hvor **alle** de grundstoffer man ønsker at analysere er tilstede til sammenligning.

Ift. en datering (tidsbestemmelse) af en genstand, fx et fund, er man fortsat nødt til at kunne koble det kulturhistoriske – altså arkæologien og historien – til geologien og fysikken. XRF-scanneren kan ikke datere. Man er derfor nødt til enten at vide, hvor fundet stammer fra, eller finde forekomster i genstanden, som er sjældne, og derfor kun findes helt bestemte steder i jorden eller i bestemte tidsaldre, for konkret at kunne fastslå tid og sted. Et eksempel kan være, at arkæologer fx finder nogle glasperler under en udgravning i Ribe. Via XRF-analyse, kan man fastslå, at nogle af glasperlerne er atypiske, da de består af den glastype, der hedder: sodium-lime-silica-glas; en glastype, der består af oxider af bl.a. natrium, silicium og natron (jf. figur 20. De to sidste fotolinjer). Denne sammensætning af grundstoffer forefindes ikke i dansk glas, men er i stedet kendt under navnet: "Romersk glas", og har med andre ord sin oprindelse i Rom. De danske vikinger må derfor have hentet glasset hjem via handelsskibe eller via togter i Italien. Glastypen er almindelig kendt i Europa i yngre romersk og ældre germansk jernalderen fra det 5. og 6. årh. e. Kr., og kan derfor dateres hertil.



<https://www.sydvestijskemuseer.dk/da/generel-information/aktuelt-oversigt/2018/international-glaskonference-20-22-marts/>

Foto 9.

Når man anvender XRF-scanning, skal man være opmærksom på, at nogle af materialerne, apparatet er lavet af, også udløser røntgenfluorescens, som kan ses som toppe i spektret. Disse skal "sorteres fra" ved en analyse. Desuden er der nogle gange sammenfald af forskellige energier, som resulterer i falske toppe (*sum peaks*), som ikke repræsenterer rigtige grundstoffer. Nogle energier fra forskellige grundstoffer ligger desuden tæt op ad hinanden, hvorved et højt *peak* kan skjule et mindre. Ved at justere apparatets analyseparametre, er det dog muligt at filtrere nogle forstyrrelser i spektret fra, identificere falske toppe, undersøge de relevante områder af spektret nærmere og tydeliggøre de ægte *peaks*.

Af den grund er det yderst vigtigt, at man, som den der aflæser spektret, altid er meget kritisk, grundig og opmærksom. Der skal være mindst to tydelige *peaks* fra den relevante elektronskal (K-, L- eller M-skal), som er opført i lister med de karakteristiske energier for hvert enkelt grundstof. Er der kun et *peak* for stoffet, findes det ikke i fundet eller genstanden, og den pågældende top er opstået ved en af de nævnte forstyrrelser.

Ud over at grundstofbestemme genstande og fund som et vigtigt redskab inden for arkæologisk og historisk forskning samt i konserveringssammenhænge, anvendes XRF-scanneren også til materialebestemmelse inden for metalindustrien, undersøgelse af iskerner og gletsjere både ift. jordens oprindelse og de forestående klimaforandringer, bestemmelse af tilsætningsstoffer og andre uhensigtsmæssige forekomster af tungmetaller mv. inden for kosmetik- og fødevarerindustrien, og meget mere. På nuværende tidspunkt er XRF-analyse den mest udbredte blandt de avancerede metoder til uorganisk materialeanalyse.

I de efterfølgende eksempler fra museumsverden, vil man kunne se resultaterne af brugen af XRF-scanneren ved undersøgelse af vidt forskellige genstande. Ligeledes bliver de enkelte spektre for de forskellige genstande præsenteret. Herved illustreres, hvordan naturvidenskaben (fysik, kemi, biologi og geologi/geografi) samt de humanistiske fag som historie, kulturhistorie og arkæologi understøtter hinanden ift. grundstofbestemmelse, teknologihistorie og i nogle tilfælde datering.

For at gøre spektrene mere læselige, har vi i flere tilfælde ikke navngivet alle toppe.

Eksempler: analyse af fund/genstande og deres spektre i praksis

Eksotiske glasperler

Hvad undersøger vi?

- Blå glasperler fra bronzealderen (ca. 1200 f.Kr.), gravfund fra Herslev på Langeland.

Hvorfor undersøger vi dem?

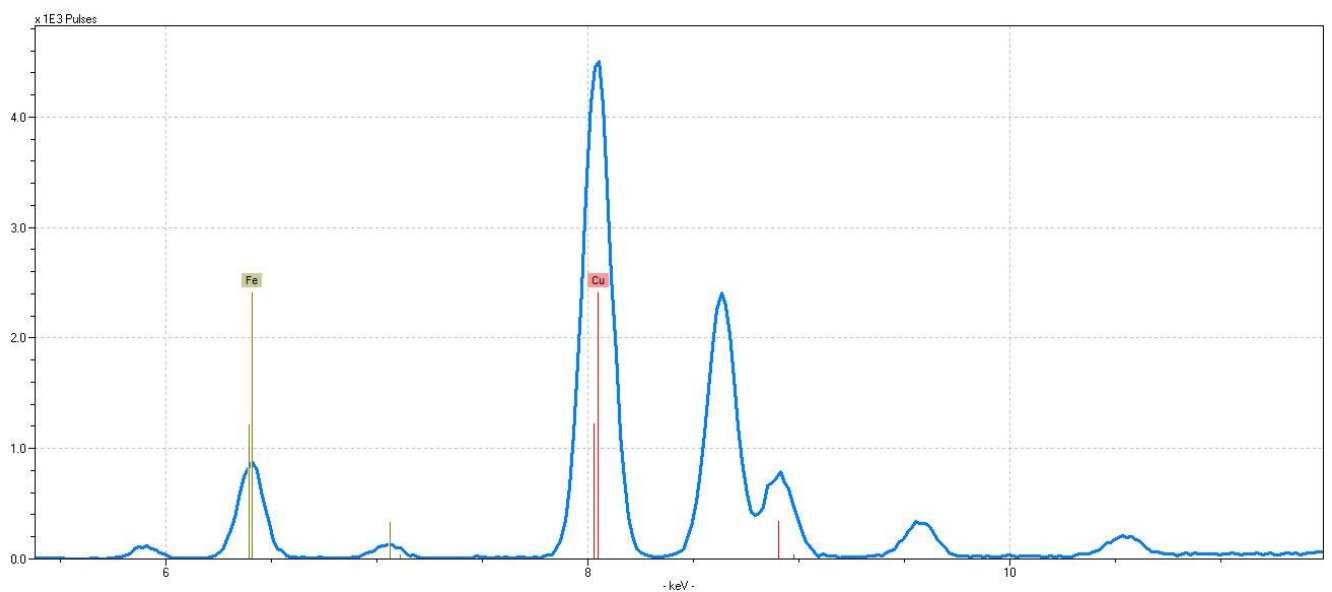
- Glasperler kan være fremstillet med forskellige grundstoffer som farvemiddel. Blå perler for eksempel kan være farvet med kobber, jern eller kobolt. I de forskellige verdensdele har man dog ikke altid haft de samme råmaterialer til rådighed. Derfor kan sammensætningen fortælle noget om, hvor perlerne er lavet og hvilke råstoffer og varer man har forhandlet over lange afstande. Vi vil finde ud af, hvilke "farvestoffer" vores blå perler indeholder, og hvad det kan fortælle os.

Hvad viser undersøgelserne?

- Undtagen to af perlerne, er alle sammensat af de samme grundstoffer og farvet med kobber og jern. To indeholder derimod kobolt og nikkel, hvilket siger os, at der må være tale om import fra de eneste steder, hvor man kunne bruge disse grundstoffer til perler i bronzealderen: Ægypten, Mesopotamien eller Italien. Perlerne er derved beviser for et stort handelsnetværk fra Nordeuropa til Mellemøsten for mere end 3000 år siden.



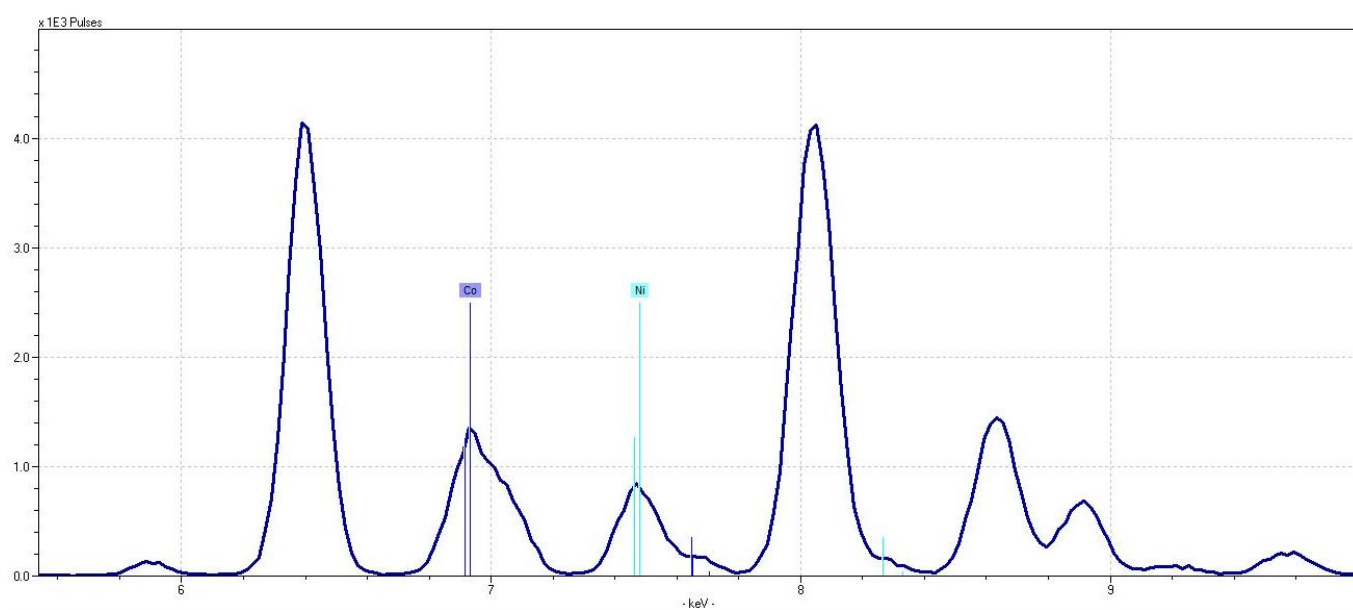
Perle type 1



Spektrum for blå perler type 1, med kobber (Cu) og jern (Fe).



Perle type 2



Spektrum for blå perler type 2, med kobolt (Co) og nikkel (Ni).

Håndværkets magt

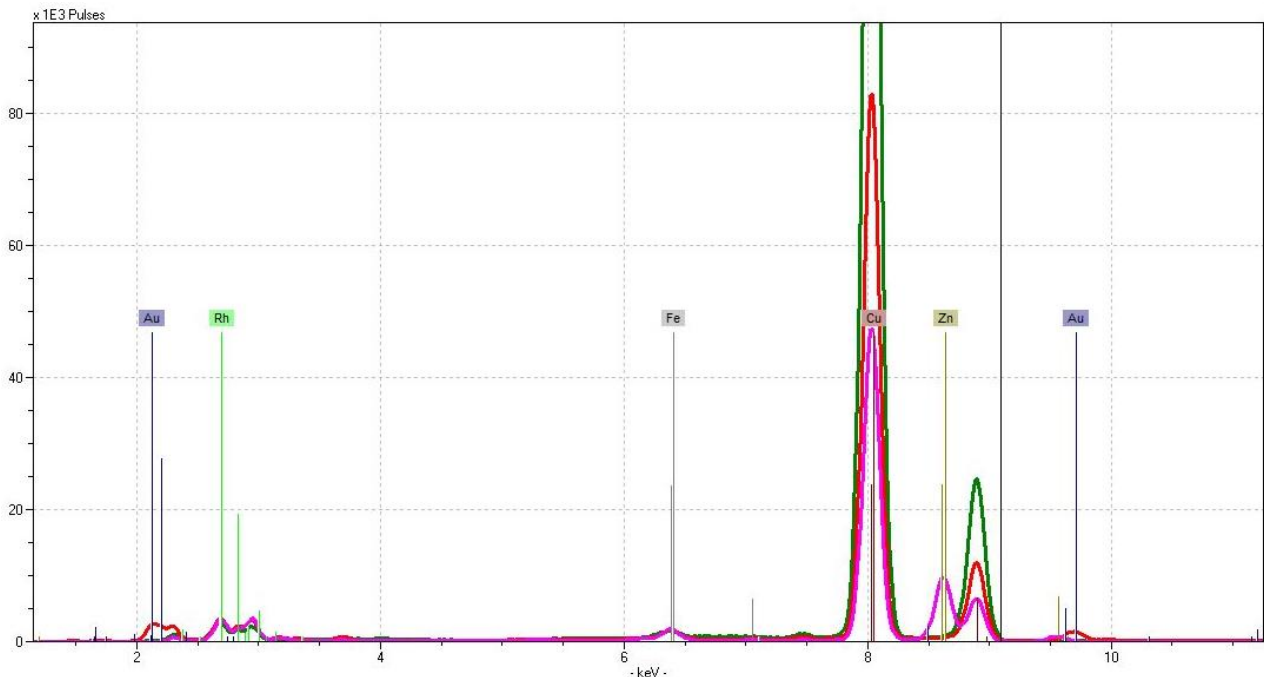
Hvad undersøger vi?

- Oldsager fra et samlet fund fra yngre bronzealder (ca. 700 f.Kr.), Mariesminde, Østfyns Museer og et samuraisværd af ukendt alder, Svendborg Museum

Hvorfor undersøger vi dem?

- Vi ved, at man i mange kulturer længe bevidst har udnyttet, at en blanding af forskellige metaller giver de derved fremstillede legeringer forskellige egenskaber og farver. Samuraisværdet er et anskueligt eksempel, hvor brugen af rent kobber, kobberlegeringer med zink og forgyldt kobber giver et dekorativt farvespil på skæftet. Ved at kigge på sammensætningen af nogle danske fund fra bronzealderen, vil vi undersøge, om man benyttede sig af lignende teknikker i denne periode. Desuden håber vi at finde frem til de oprindelige farver på grønt eller brunt anløbne oldsager af bronze.





Spektrum for forskellige dele af et samuraisværd, med næsten rent kobber (Cu) for det røde metal (grøn kurve), kobber og zink (Zn) for det messinggule metal (lyserød kurve) samt kobber og guld (Au) for den gyldne blomst (rød kurve).

(Signalet for rhodium (Rh) stammer fra XRF-scanneren, mens det for jernet (Fe) kan skyldes en mindre forurening af metallerne.)

Hvad viser undersøgelserne?

- Der er i alt 31 genstande fundet fra Mariesminde. Analyserne* af fundet viser overordnet at de genstande som indeholder mere end 90 % kobber, får et rødligt skær. Et par rødlige halsringe, som skal være lidt bøjelige for at kunne tage dem på, indeholder fx over 90 % af det blødere kobber. Analysen af en økse viser derimod den typiske sammensætning for bronze: ca. 90 % kobber og 10 % tin. Det resulterer i en flot gylden farve og et hårdt, sejt metal, velegnet til nogle smykker, men også til værktøj og våben. En velbevaret armring har en mere sølvfarvet farvenuance, og her er der 23 % tin i. Metalfarven skiller sig derfor ud fra "mængden", men legeringen er mere sprød og ville derfor ikke være brugbar til f.eks. værktøj. Undersøgelserne tyder på, at legeringer blev valgt bevidst og at vi kan konkludere de oprindelige farver af bronzegenstande ud fra deres grundstoffer.

*De kvantitative analyser blev udført med en anden type røntgenspektrografisk analyseapparat i et scanning-elektronmikroskop (SEM-EDS), enten på prøver fra genstandene eller på overflader som var forberedt til analyse ved slibning, hos Heimdal-archaeometry v/ Arne Jouttijärvi.



Jagtfugl - magtfugl

Hvad undersøger vi?

- Fuglefibel (dragtnål) fra yngre jernalder (600 – 700 e.Kr.) fra Østfyns Museer og udstoppede fugle fra Hindsholm Egns Museum og Østfyns Museer.

Hvorfor undersøger vi dem?

- I begge tilfælde har vi mistanke om, at der er giftige stoffer til stede. Ved fuglefiblen vil fund af kviksølv afsløre, om den er blevet "lueforgylt", dvs. forgylt over åben ild med et opvarmet amalgam af kviksølv og guld. Selvom en del af kviksølvet fordamper under opvarmningen, bliver noget tilbage, bundet til gullet – det vil kunne ses i analysen. Ved de udstoppede fugle vil vi bestemme, om det er risikabelt at håndtere dem pga. giftstofferne, som blev brugt til at konservere dem mod forrådnelse og forebygge angreb fra skadedyr.

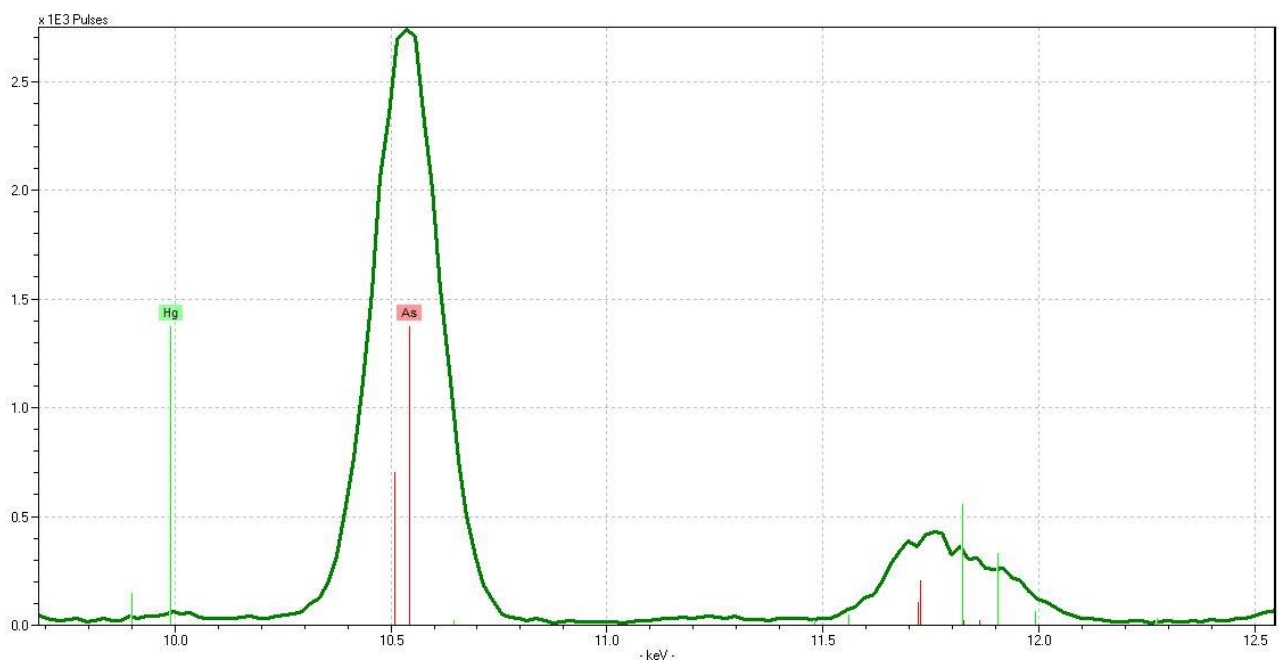




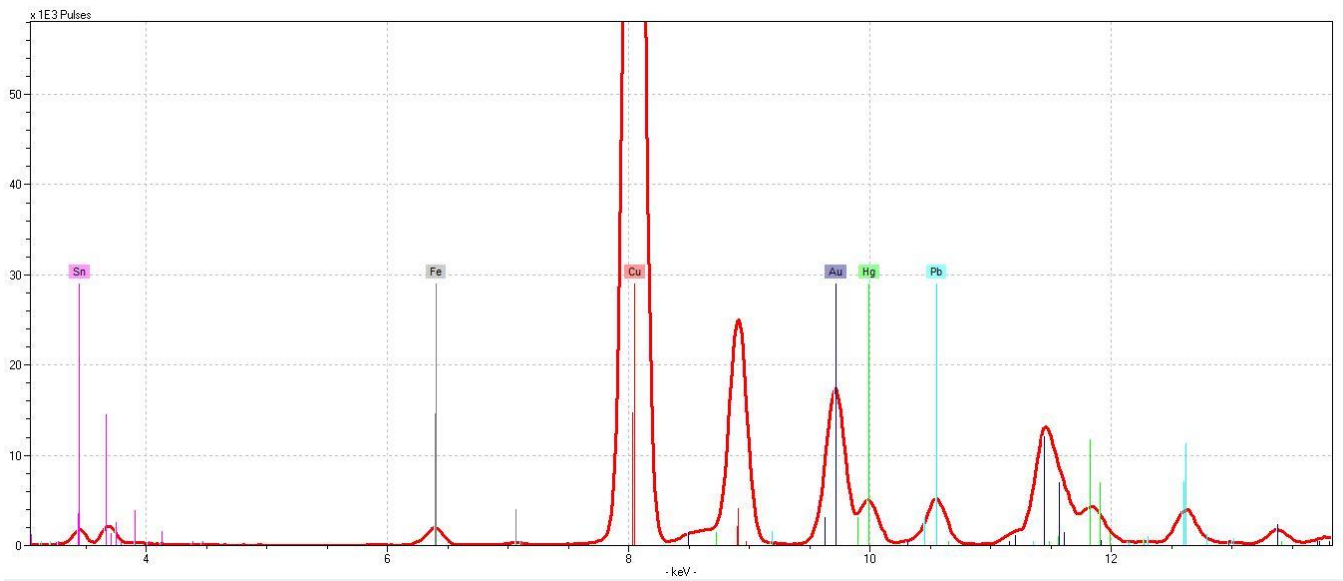
Hvad viser undersøgelserne?

- Vi har identificeret kviksølv, guld, kobber og tin i fuglefiblen. Det fortæller os, at den faktisk er støbt af bronze (kobber-tin legering) og bagefter lueforgylt med guldamalgam – den ældste forgyldningsmetode der findes.

I fuglene kan vi påvise både kviksølv og arsenik, en temmelig giftig cocktail. Da vi både har fundet det længere inde i præparaterne og på de yderste fjer, anbefaler vi fremover ikke at røre ved fuglene uden engangshandsker på, for ikke at få gift på fingrene.



Spektrum for en udstoppet falk, med arsenik (As) og kviksølv (Hg)



Spektrum for en lueforgylt fuglefibel, med bl.a. guld (Au), kviksølv (Hg), kobber (Cu) og tin (Sn)

Skinnet bedrager Del 1

Hvad undersøger vi?

- Flere gyldne pyntegenstande fra middelalderen fundet i Svendborg ved udgravninger i 1976 og 1977.

Hvorfor undersøger vi dem?

- Sammen med hver genstand er der udfyldt en seddel, der beskriver dem. Her står bl.a. at genstandene er lavet af guld eller er forgyldte. Dette er senere streget ud og der er skrevet, at de er lavet af bronze (kobber og tin) eller messing (kobber og zink). Vi vil finde ud af om genstandene er lavet af guld, bronze eller messing.

The image shows a museum inventory card for a gold ring (GULD - forgyldt) found in Svendborg. The card is filled with handwritten details and includes a small photo of the ring. A small label with 'BCW 8' and '607a' is attached to the card.

SVENDBORG										FUNDSTED:										SOGN:										HRD:																			
Nr.: BCW 8										GENSTAND: SMYKKE LISTE										☒ Fragment										GRUPPE: 14										FUNDÅR: 1976									
LOK: 607a										MATERIALE: Kobber og tin										TILSTAND:										l.:										b.:									
Felt: 10										FAKTE:										d.:										t.:																			
Sekt: 10										FORM:										d.:										diam.:																			
Sigt: 10										NØJERE BESKRIVELSE:										st.mål:										4 cm																			
Fot: 10										FOTO:										RØNTGEN:										TEGNING:																			
Lagdelte:										KONSERVERING:										Til: 4-2-77										Fra: 11-7-77																			
Kerne:										Tegning:										Beregning: 227										DEPONERING:																			
Indv.:										UDST.:										MAG.:										KASS.:																			
OVERFLADE:										DATO:										INDFØRT AF:										7/10 1976										FSB									
ANDET:										7/10 1976										7/10 1976										7/10 1976										7/10 1976									

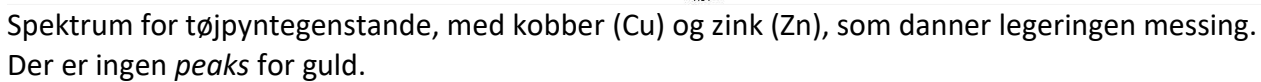


Hvad viser undersøgelserne?

- Alle de genstande vi undersøgte, var lavet af messing, omend usædvanligt velbevaret for jordfund at være. Forklaringen bunder i at jordmiljøet var vanddrukkent, iltfattigt og indeholdt svovlbakterier. Det omdannede kun metallets overflade til et mørkt lag. Dette lag blev fejlagtigt opfattet som jord. Herunder kunne skimtes messingets oprindelige gyldne farve, som var årsag til, at metallet blev forvekslet med det ædlere guld.



Billedet ovenover viser en messing-genstand fra lignende fundforhold, hvor det mørke lag er delvis afrenset.



Skinnet bedrager

Del 2

Hvad undersøger vi også?

- Nogle hægter der formodentlig har siddet på en kvindedragt. De er fundet i en grav fra jernalderen ved Årslev.

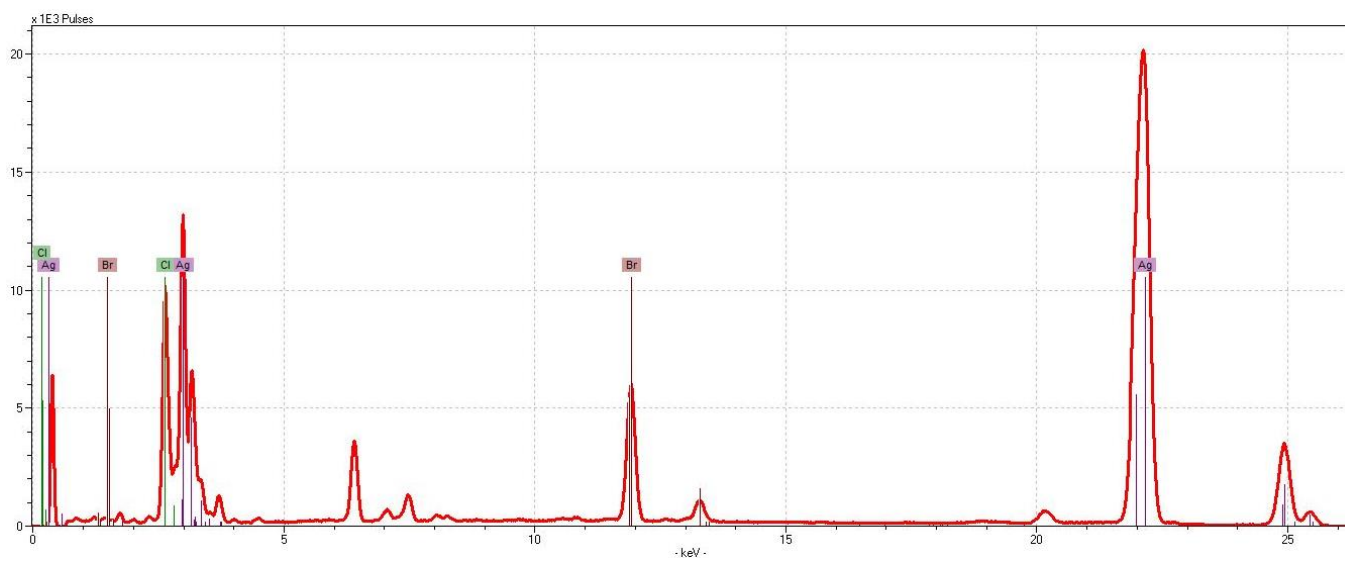
Hvorfor undersøger vi dem?

- Materialet, hægterne er lavet af, er ikke umiddelbart genkendeligt. Vi vil identificere det for bedre at kunne indordne og bevare hægterne.



Hvad viser undersøgelsen?

- Undersøgelsen viser at grundstofferne, der hovedsagelig er tilstede, er sølv, klor og brom. Vi kan udlede at hægterne har været fremstillet af sølv. I jorden findes klorider og bromider, de sidste fra nedbrudt organisk materiale. Sølvet er gået i forbindelse med disse og er blevet omdannet til sølvklorid og sandsynligvis sølvbromid efter 2500 år ophold i jorden. At det her er sølvklorid, der er tale om understøttes af arkæologernes observation under udgravning af hægterne: de skiftede farve og blev mørkere, da de kom frem i dagens lys. Sølvklorid er nemlig lysfølsomt. En egenskab der er blevet brugt ved fremstilling af tidlige fotografier.



Spektrum for hægte, med sølv (Ag), klor (Cl) og brom (Br).

Vejen til magten

Del 1

Hvad undersøger vi?

- Vi undersøger materiale, der stammer fra metalforarbejdning fra bronzealderen til vikingetid/middelalder.
- 1) Støbekager fra bronzealderen fra et depotfund på Østfyn.
 - 2) Affald fra metalstøbning fra vikingetid/middelalder fundet nær Nr. Lyndelse

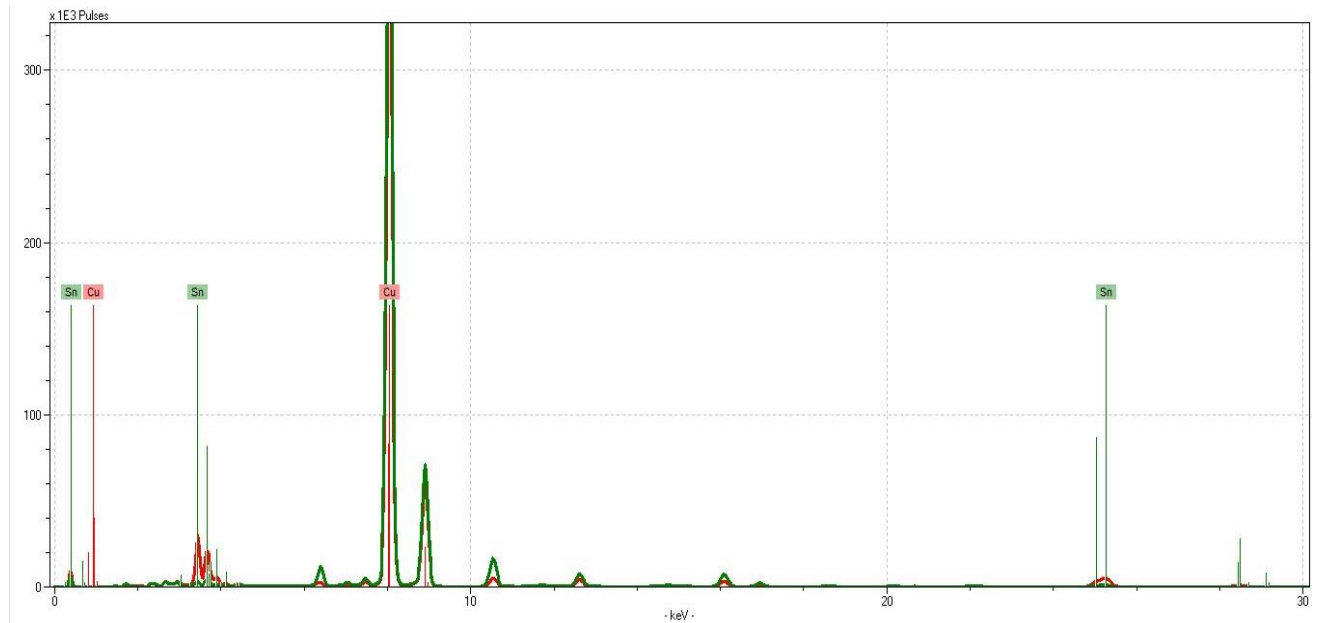
Hvorfor undersøger vi det?

- Det er ikke muligt at se materialesammensætningen i de pågældende genstande med det blotte øje. Vi vil gerne vide, hvilke slags metaller der blev forarbejdet på fundstederne.



Hvad viser undersøgelsen?

- På trods af at de undersøgte genstande ser forskellige ud viser undersøgelsen at de hovedsageligt indeholder grundstofferne kobber og tin. De er altså alle levn fra bronzeproduktion.



Spektrum for forskellige levn fra metalforarbejdning, med bl.a. kobber (Cu) og tin (Sn), som bruges i fremstilling af bronze.

Vejen til magten

Del 2

Hvad undersøger vi også?

- Nogle klumper malm med formodentlig guldinklusioner, der tilhører Marstal Søfartsmuseum. Det vides ikke hvornår eller af hvem museet har fået klumperne. Men den er noteret som stammende fra Cripple Creek Colg.

Hvorfor undersøger vi det?

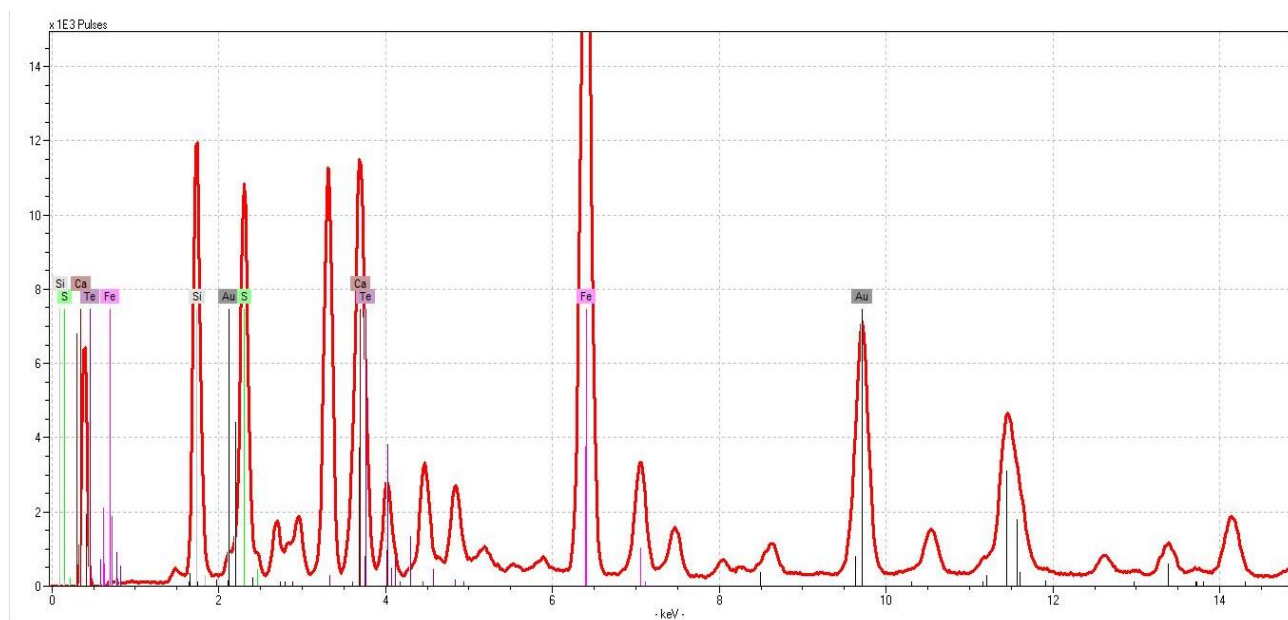
- Vi vil finde ud af om det er ægte guld, som klumperne indeholder eller narreguld (pyrit), en jern-svovlforbindelse, som har snydt mange guldgravere i tidens løb, fordi den ligner guld meget.



Som det kan ses på spektret nedenunder, hvor vi har analyseret området med den gyldne klump i malmstykket i forgrunden af billedet, er der ganske rigtig tale om guld (Au). De andre markerede toppe er nogle af de grundstoffer, der i øvrigt er i malmen, heriblandt jern (Fe) og svovl (S), så der kan faktisk også godt være narreguld i malmen. Malmen indeholder desuden det sjældne grundstof tellur.

En søgning om guldminer ved navn Cripple Creek, viste at netop tellur findes i mineområdet omkring Cripple Creek, Colorado, USA. Analysen understøtter derved de informationer museet har vedrørende malmens oprindelsessted Cripple Creek.

"Colg." giver i denne forbindelse dog ikke mening, og må antages at være en skrive- eller læsefejl. Mere sandsynligt er det, at der bør stå "Colo.".



Lille spejl på væggen der

Hvad undersøger vi?

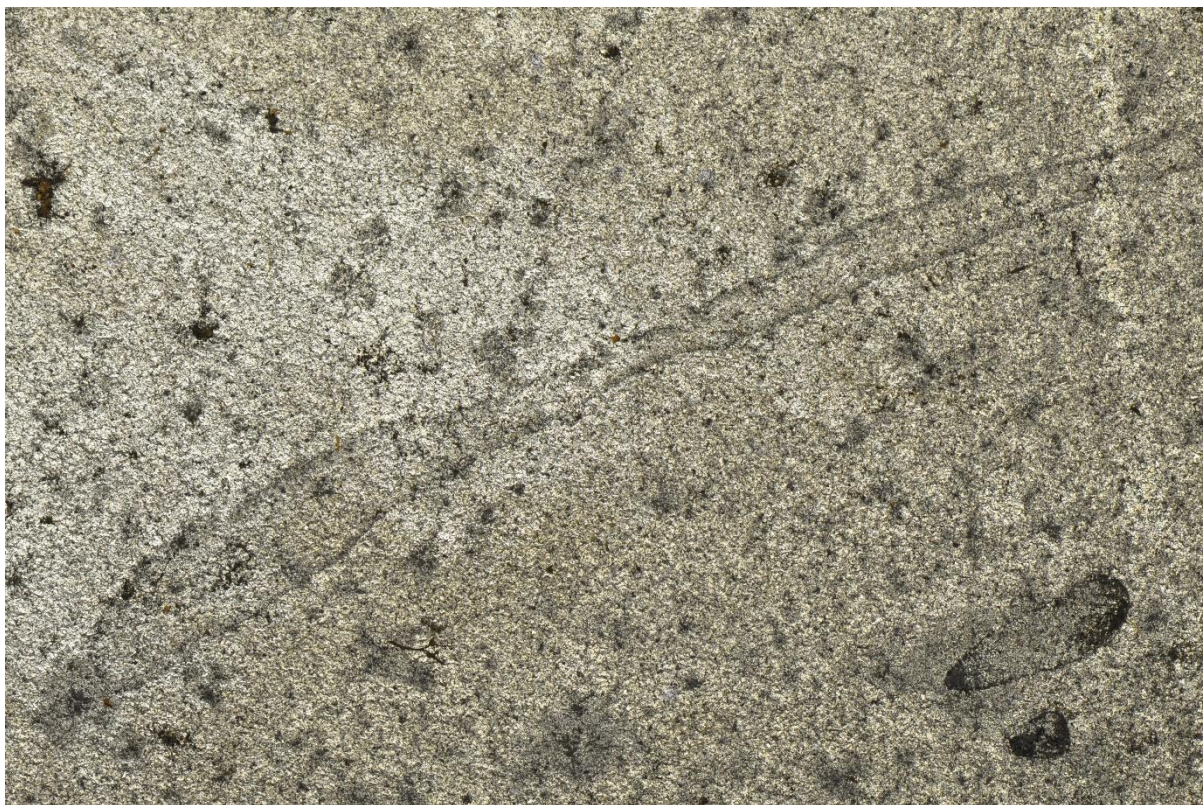
- Tre spejle. Det ene tilhører Ærø Museum og de to andre Marstal Søfartsmuseum.

Hvorfor undersøger vi spejlene?

- På alle tre spejle kan man se på forsiden, at der er ændringer (nedbrydning) i det reflekterende lag, der er påsat glasset. For bedst at kunne rådgive museerne om, hvordan spejlene opbevares mest hensigtsmæssigt, er det vigtigt at vide, hvilke materialer der er brugt til at lave spejlglasset.
- Museerne har meget lidt information om spejlenes alder eller hvem der har ejet dem. Vi ved at traditionelt er spejlglas indtil midt i 1800-tallet fremstillet med amalgam af kviksølv og tin. Derefter begyndte man at anvende sølv og sølv-tin amalgam.



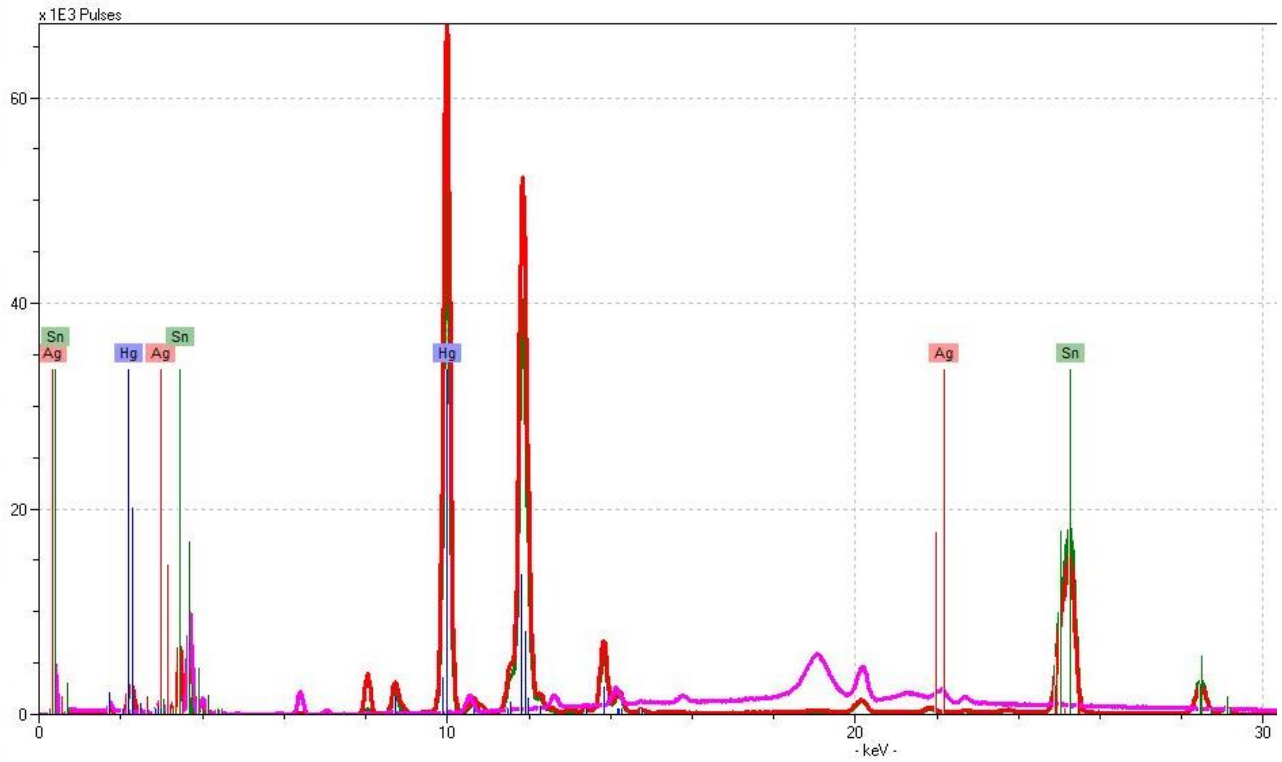
Spejlglas med sølvbelægning under sort lak, som er begyndt at anløbe hvor der er utætheder i lakken.



Spejlglas med kviksølv-tin belægning (amalgam), bagside.

Hvad viste undersøgelsen?

- Den reflekterende belægning på to af spejlglassene, det ene fra Ærø Museum og det andet fra Marstal Søfartsmuseum, indeholdt giftigt kviksølv og tin. Da kviksølv-tin belægningen er følsom overfor fugt, er det vigtig at spejlene ikke udsættes for høj luftfugtighed. Det anbefales også at bagbeklædningen er tæt, især langs den nederste kant, så evt. løs belægning ikke kan falde af. Det andet spejl fra Marstal Søfartsmuseum kan dateres meget præcist, da der på spejlglassets bagside, står Thorvald Pedersen 23. juli 1929. Den reflekterende belægning er sølvbaseret. Sølvbelægningen er påført en sort lak for at forhindre at sølvet løber an og bliver misfarvet. Hvor lakken er faldet af kan man se at sølvet er begyndt at løbe an. Spejlglasset skal derfor beskyttes mod bl.a. svovlholdig luft, som er årsag til dette.



Spektrum for to spejlglass med kviksølv (Hg) og tin (Sn) (rød og grøn kurve) og et spejlglass med sølv (Ag) (lyserød kurve).

Aluminium – militærmagtens metal

Hvad undersøger vi?

- Østeuropæiske medaljer og et Thunderflash-fly fra den Kolde Krig, fra Langelands Museum.

Hvorfor undersøger vi dem?

- Vi vil se, om der sker en ændring i brugen af forskellige metaller til medaljer i takt med, at der skulle produceres stadig flere af dem, mens økonomien i østblokken blev dårligere.

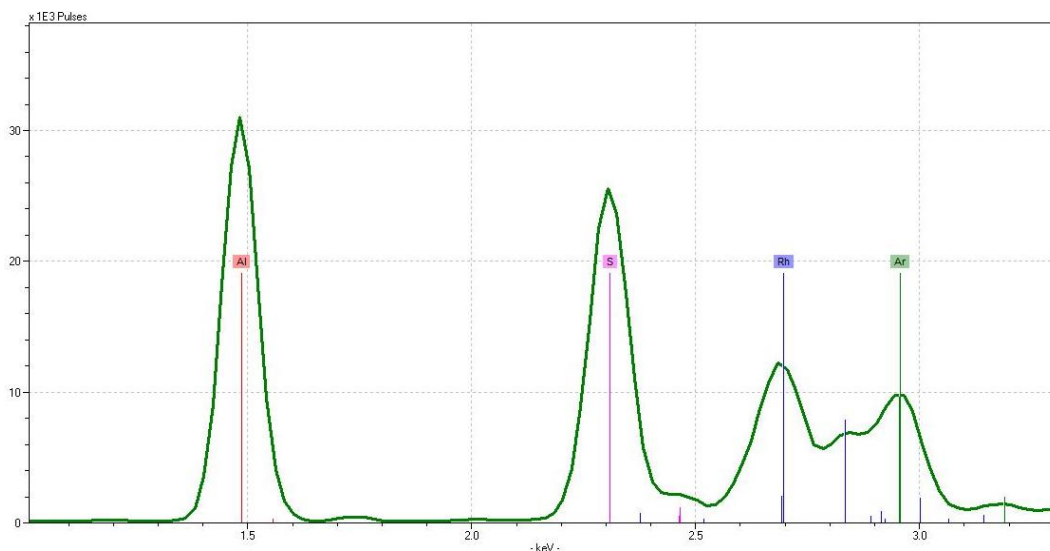
Flyet er korroderet kraftigt, og vi vil prøve om vi kan finde frem til de grundstoffer i metallet, som er ansvarlige for dets dårlige holdbarhed.





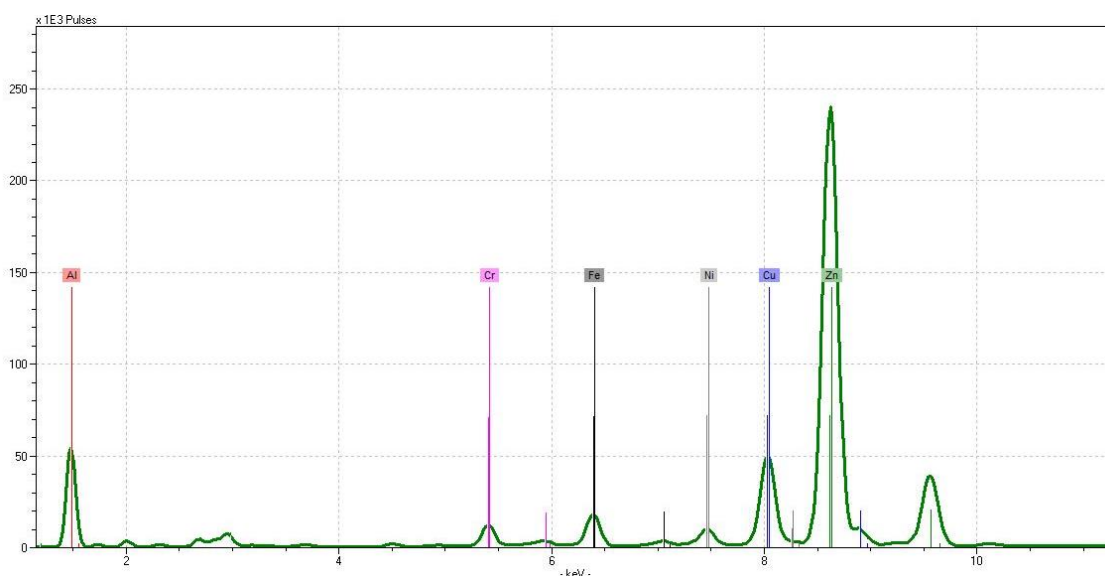
Hvad viser undersøgelserne?

- I første omgang har vi undersøgt en del østtyske og sovjetiske medaljer af letmetal. Der er tale om billigt aluminium, selv om det ofte er belagt med gyldne eller røde farver, som skal minde om guld og emalje. De er typisk blevet brugt til mindre vigtige hædersbevisninger. Andre medaljer er vi først begyndt på at analysere, men der finder vi oftere kobber, messing og sølv.

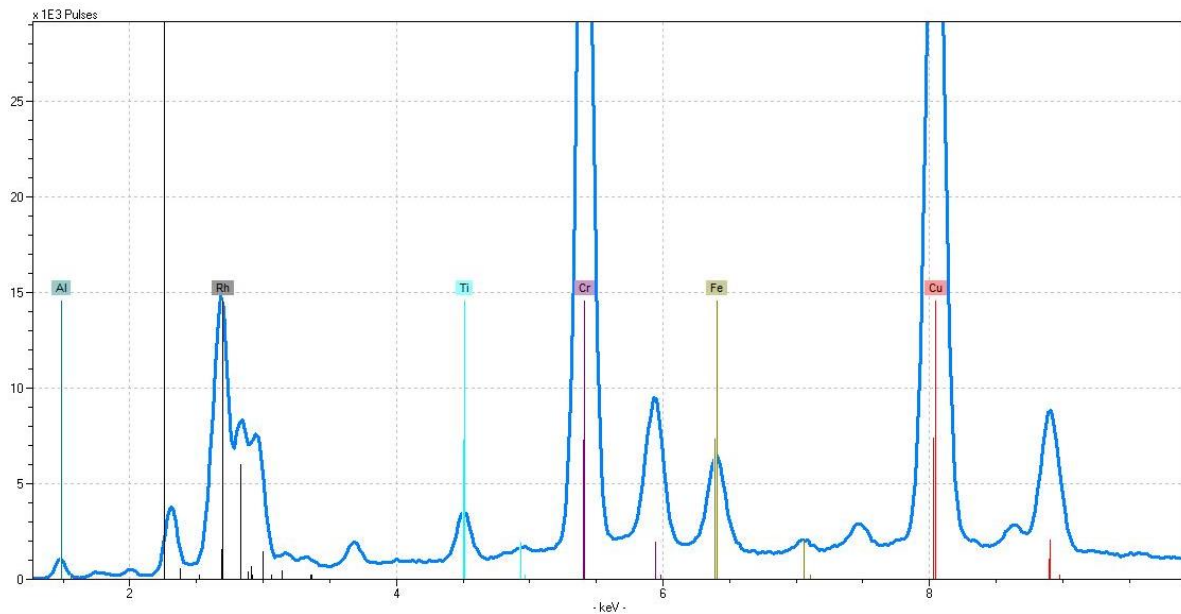


Spektrum for en medalje fra DDR, med aluminium (Al) og svovl (S). Rhodium (Rh) stammer fra XRF-udstyret, argon (Ar) fra luften mellem genstand og detektor.

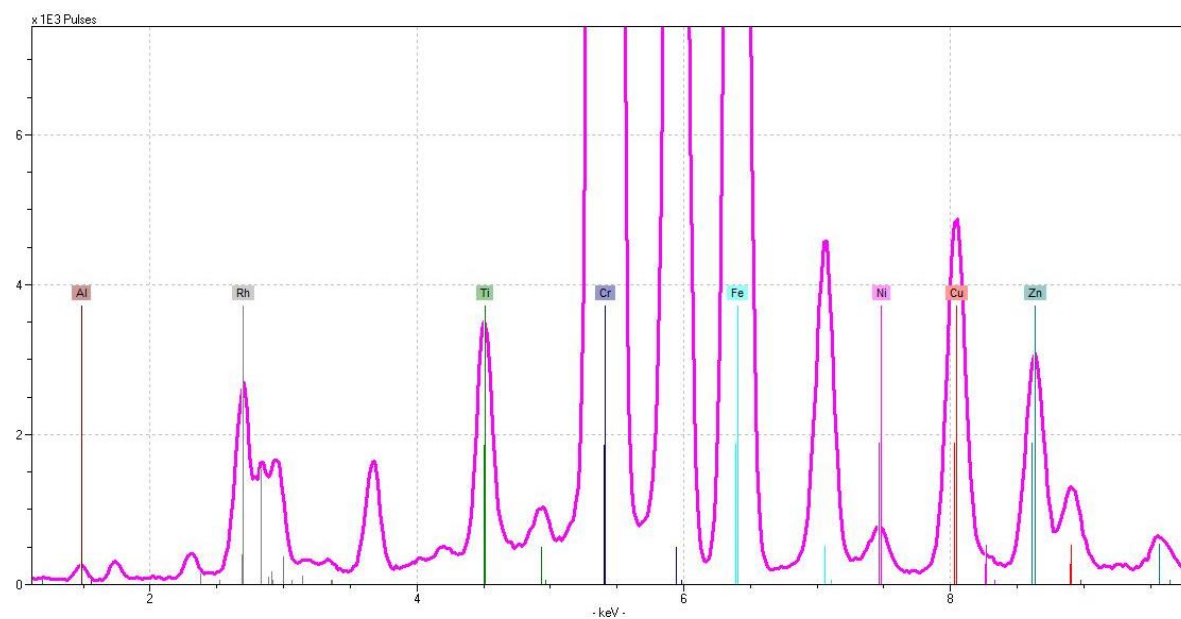
- Thunderflash-flyet er lavet af en aluminiumslegering, som indeholder en stor andel zink. I andre, mere korrosionsstabile flytyper, er aluminium derimod blandet med bl.a. kobber og krom. Vi formoder derfor, at de høje zinkværdier – måske i kombination med flere grundstoffer – er skyld i dens voldsomme nedbrydning.



Spektrum for Thunderflash fly, med hovedsageligt aluminium (Al) og zink (Zn).



Spektrum for MIG-23 fly, med hovedsageligt aluminium (Al), krom (Cr) og kobber (Cu).



Spektrum for F-35 "Draken", med hovedsageligt aluminium (Al), krom (Cr), jern (Fe), kobber (Cu) og titan (Ti)