



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Studier av atomära emissionsspektra för kadmium (Cd) och krypton (Kr)



Spektrallampa, kadmium

Jonatan Haraldsson jonhara
Oscar Lindberg oscarlin

Program: Teknisk fysik.

Kurs: Experimentell fysik 2, TIF091/TIF096.

Januari, 2023

Sammandrag

Med syftet att studera emissionsspektrat för kadmium (Cd) och krypton (Kr) har experiment med spektrometern *SPEX 270M* genomförts. En spektrometer är ett instrument som används för att mäta elektromagnetisk strålning genom att separera olika frekvenser av strålningen och mäta intensiteten för varje frekvens. Metallen kadmium undersöktes i våglängdsintervallet 300–750 nm och uppvisade flera karakteristiska spektrallinjer, bland annat 467,78 nm, 479,87 nm och 508,31 nm. Ädelgasen krypton (550–900 nm) uppvisade en mer komplex profil, med bland annat 758,93 nm, 760,25 nm och 811,34 nm som särskilt framträdande spektrallinjer. Resultaten stämmer överens med tidigare mätningar och data från exempelvis NIST.

Abstract

Experiments with the sepctrometer *SPEX 270M* have been conducted with the aim to study the emission spectra of cadmium (Cd) and krypton (Kr). A spectrometer is an instrument used to measure electromagnetic radiation by separating different frequencies of the radiation and measuring the intensity of each frequency. The metal cadmium was investigated in the wavelength range 300–750 nm and exhibited several characteristic spectral lines, including 467,78 nm, 479,87 nm and 508,31 nm. The nobel gas krypton (550–900 nm) showed a more complex profile, with 758,93 nm, 760,25 nm and 811,34 nm as particularly prominent spectral lines. The results agree well with previous measurement and data from, for example, NIST.

Innehåll

1	Introduktion	1
2	Teori	1
2.1	Energinivåer i kvantmekaniska system	1
2.2	Emissionsspektrum och energinivådiagram	1
2.3	Breddning och förskjutning av spektrallinjer	2
3	Försöksuppställning och metod	3
4	Resultat	4
4.1	Kadmium	4
4.2	Krypton	5
5	Diskussion	6
A	Utrustningsförteckning	9
B	Källkod LabVIEW	10
C	Källkod Python spektrum	11
D	Fullständiga emissionsspektra utan text	14
E	Laborationslogg	15

1 Introduktion

Elektromagnetisk spektroskopi är en teknik som används för att mäta och analysera elektromagnetisk strålning som absorberas eller emitteras av materia. Genom att undersöka ett spektrum, det vill säga strålningsintensiteten som en funktion av våglängd eller frekvens, kan information om materians energinivåer, sammansättning och struktur utrönas. Spektroskopi är ett viktigt verktyg inom områden som astronomi, kemi, materialvetenskap och fysik, och kan användas för att undersöka ämnen både på atomnivå och över astronomiska avstånd.

En spektrometer fungerar i korthet genom att separera våglängder av strålningen och mäta intensiteten av varje våglängd. Detta görs vanligtvis med hjälp av en prismetall eller ett diffraktionsgitter, som bryter upp strålningen i ett spektrum med olika våglängder. Den moderna spektrometern uppfanns år 1814 av Joseph von Fraunhofer [1] och vidareutvecklades senare av svensken Kai Seigbahn, som för sin insats belönades med Nobelpriset i fysik 1981 [2].

I denna rapport presenteras resultatet av ett experiment där spektrometern *SPEX 270M* användes för att bestämma emissionsspektra och energinivådiagram för metallen kadmium (Cd) och ädelgasen krypton (Kr).

2 Teori

I detta avsnitt ges en övergripande bild av de kvantmekaniska principer som ligger till grund för emissionsspektrum och energinivådiagram, samt en redogörelse av vissa naturliga begränsningar vid spektroskopi.

2.1 Energinivåer i kvantmekaniska system

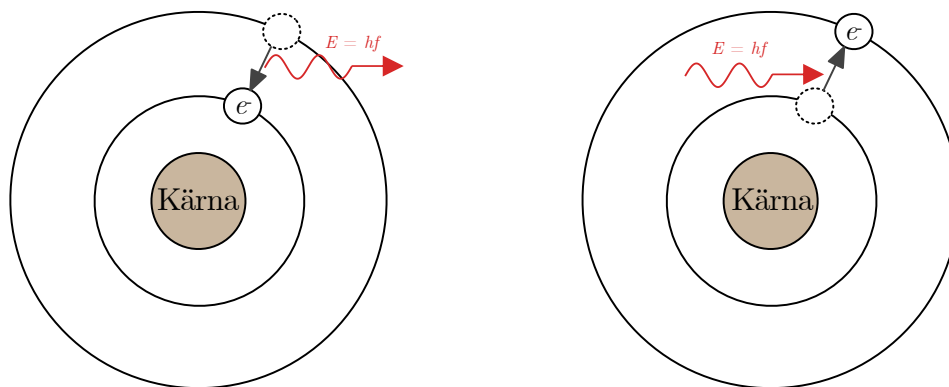
När en elektron i en atom eller molekyl övergår från ett högre energitillstånd, $|n + 1\rangle$, till ett lägre, $|n\rangle$, emitteras en foton, vars energi ges av differensen mellan de två tillståndens energier. Energin E_n hos tillståndet $|n\rangle$ ges av Schrödingerekvationen, $\mathcal{H}|n\rangle = E_n|n\rangle$, och således kan den emitterade fotonens energi beräknas genom $\Delta E = E_{n+1} - E_n$. Vidare är energiskillnaden korrelerad till den emitterade strålningens våglängd λ enligt

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1)$$

där $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ är Plancks konstant och $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$ är ljushastigheten [3]. Enligt kvantteorin är atomära elektroners energinivåer kvantiserade. Varje atom eller molekyl har en unik uppsättning möjliga energinivåer, vilka i sin tur bidrar till en unik uppsättning våglängder hos det absorberade eller emitterade ljuset.

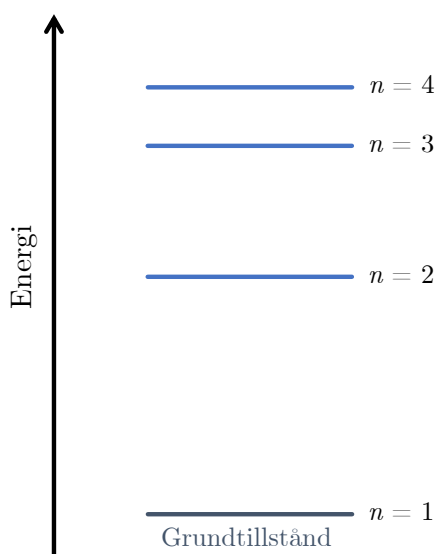
2.2 Emissionsspektrum och energinivådiagram

Ett emissionsspektrum är ett diagram som åskådliggör intensiteter för de emitterade våglängderna. I figur 2 visas en schematisk bild då en foton emitteras respektive absorberas. Ett annat sätt att åskådliggöra ett systems energinivåer är i ett energinivådiagram, som istället visar övergångar mellan olika energinivåer. Energinivådiagrammet består enbart av en vertikal axel med värden av energi, och därefter ritas energinivåer som horisontella streck.



Figur 2: Figuren visar en skiss över två atomer där elektronövergångar sker. I den vänstra atomen emitteras en foton med energin $E = hf = hc/\lambda$; elektronen ”hoppas” från en högre energinivå till en lägre. I den högra atomen absorberas en foton, vilket exciterar atomen.

I figur 3 visas en skiss över ett energinivådiagram, där energinivån markerats med motsvarande huvudkvanttal n .

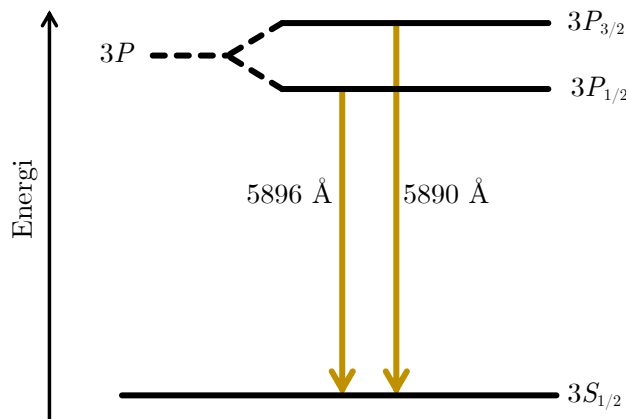


Figur 3: Figuren visar en skiss över ett energinivådiagram. Grundtillståndet är det tillstånd med lägst energi, då kvantalet $n = 1$. Tillstånd med $n > 1$ benämns som exciterade tillstånd.

2.3 Breddning och förskjutning av spektrallinjer

Det finns vissa naturliga begränsningar vid högupplöst spektroskopi. Finsktruktursplittering är ett fenomen orsakat av relativistiska effekter och elektronspinn som vid högupplöst spektroskopi kan göra att spektrallinjer delas i mindre komponenter med små skillnader i våglängder. Då våglängden enligt ekvation 1 är korrelerad till elektronens energi beskriver finstrukturen att elektroner på energinivån n kommer ha små inbördes skillnader i energi.

Skillnader orsakade av relativistiska effekter kommer från att elektronerna når hastigheter som gör att deras kinetiska energi måste modifieras med en relativistisk korrigering. Vidare bidrar även fenomenet spinn-bankoppling — en koppling mellan elektronens spinn \vec{S} och dess orbitala rörelsemängdsmoment \vec{L} — till finstruktursplittringen. Matematiskt sammanfattas effekterna av spinn-bankoppling som en störande Hamiltonian $\mathcal{H}'_{\text{SB}} \propto \vec{S} \cdot \vec{L}$, vilken antar olika värden beroende på \vec{S} :s och \vec{L} :s orienteringar samt $|\vec{L}|$. Ett exempel på finstruktursplittring är i övergången $3^2P \rightarrow 3^2S$ för natrium, där det uppstår två spektrallinjer med en våglängdsskillnad på 6 Å till följd av att det orbitala rörelsemängdsmomentet går från $L = 1 \leftrightarrow P$ till $L = 0 \leftrightarrow S$ (se figur 4) [4]. Exponenten 2 indikerar att elektronen är oparad och att den sägs befinna sig i ett dubblett-tillstånd. Förutom dubblett-tillstånd kan elektroner befinna sig i singlett- eller triplett-tillstånd, där den senare ger upphov till att spektrallinjer kan splittras i tre.

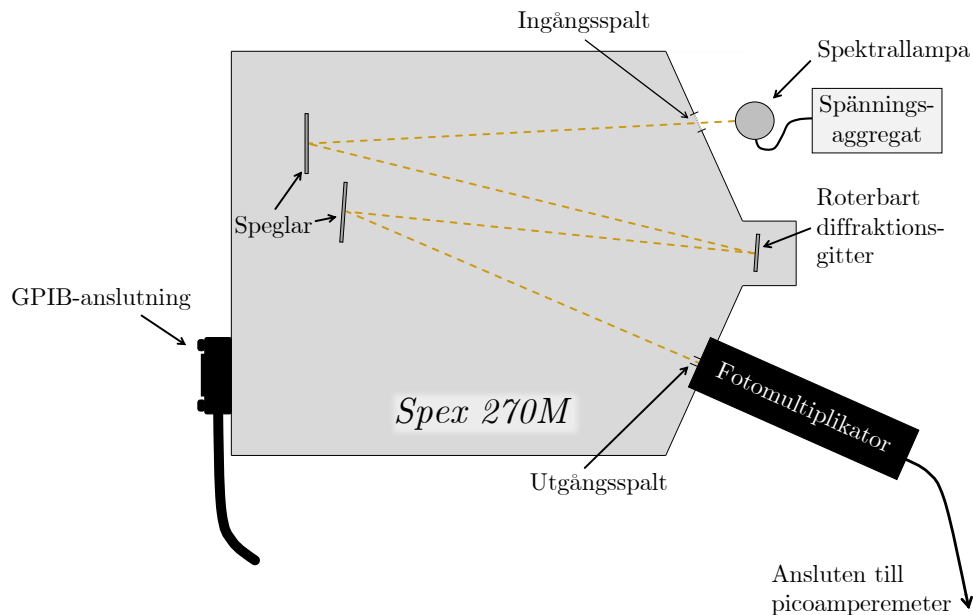


Figur 4: I figuren visas en skiss över hur finstruktursplittring kan åskådliggöras i ett energinivådiagram vid övergången $3P \rightarrow 3S$ för natrium. För underskalet (orbitalen) P är $L = 1$, så med spinn $S = \pm 1/2$ erhålls indexen $3/2$ respektive $1/2$, vilka kan tolkas som summan av det azimutala kvanttalet L och spinnkvanttalet S ($J = L + S$). Det som skiljer $3^2P_{3/2}$ från $3^2P_{1/2}$ är således riktningen på elektronens spinn och det för med sig en skillnad i våglängd på 6 Å mellan de två spektrallinjerna.

3 Försöksuppställning och metod

Spektrometern *SPEX 270M* (se figur 5) monterades på ett optikbord och fotomultiplikatorröret (*Hamamatsu R375*) anslöts till en multimeter (*HP 34401A*) via en picoamperemeter (*Keithley 485 Autorange Picoammeter*) och en förstärkare. Instrumenten anslöts med GPIB-kabel till en dator med analysprogramvaran *LabVIEW*. Den *LabVIEW*-kod som skrevs för att styra spektrometerns diffraktionsgitter och spaltöppningar, och övriga delar av experimentet, finns presenterad i bilaga B.

Inledningvis kalibrerades spektrometern mot ett referensämne, i detta fallet användes en spektrallampa med natrium (Na). Spektrumet från natrium innehåller den karakteristiska dubbeltoppen med spektrallinjerna 588,9950 nm och 589,5924 nm (se figur 4) [5]. Bredden på in- och utspalterna sattes efter prövning till 0,03 mm respektive 0,0369 mm, vilket gav förhållandet 1,23 mellan in- och utspalt. För att erhålla intensiteten för olika våglängder roterades diffraktionsgittret med kortast möjliga steglängd 1/32 nm. Våglängdsintervallet sattes godtyckligt till $\lambda = 300 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$ för kadmium (Cd) och $\lambda = 550 \text{ nm} - 900 \text{ nm}$ för



Figur 5: I figuren visas en skiss över spektrometers olika delar samt spektrallampans placering. Hela spektrometern var kopplad till dator med GPIB-anlutning och via LabVIEW kunde diffraktionsgittret roteras och spaltöppningarna justeras.

krypton (Kr). Mätdata för respektive spektrum exporterades från LabVIEW till Microsoft Excel och visualiserades sedan med Python (se bilaga C för källkod).

Från det erhållna spektrumet konstruerades ett energinivådiagram genom att jämföra våglängderna med tabellvärden för kadmiums energinivåskillnader [6]. Vidare framgick det av tabellerna vilken elektronkonfiguration som var kopplad till vilken energinivå och därifrån konstruerades LS-termer på formen $n^{2S+1}L_J$, där n är huvudkvanttal, S det totala spinn-talet, L orbitalt rörelsemängdsmoment och J det totala rörelsemängdsmomentet. För att göra energinivådiagrammet tydligare delades det upp i två delar: en del för singlett-övergångar och en del för triplett-övergångar. För att konstruera diagrammet användes ett Python-skript som nås via [7]. Våglängderna associerade med varje övergång lades sedan in i diagrammet med Microsoft Power Point.

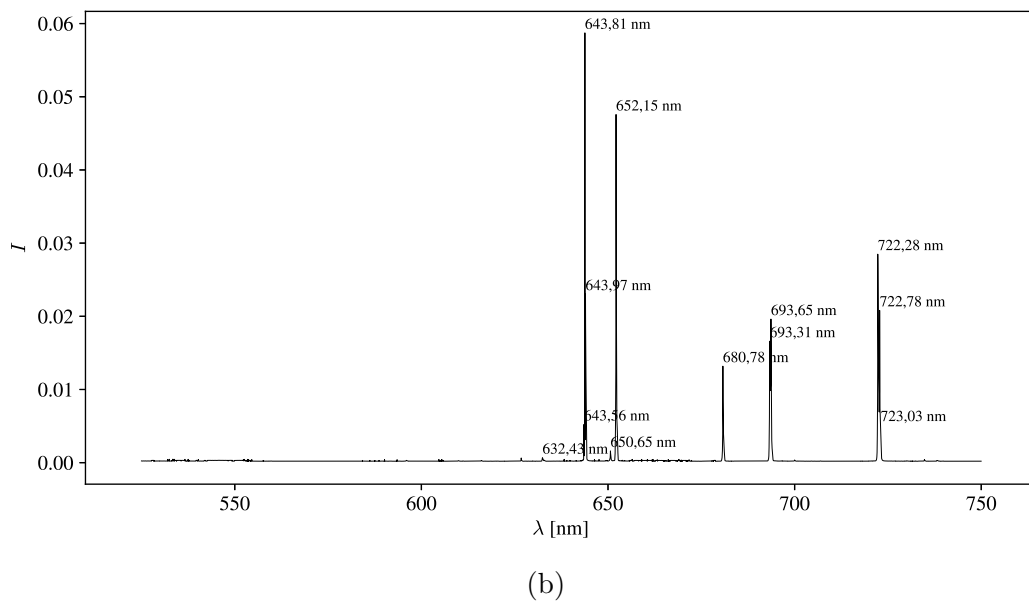
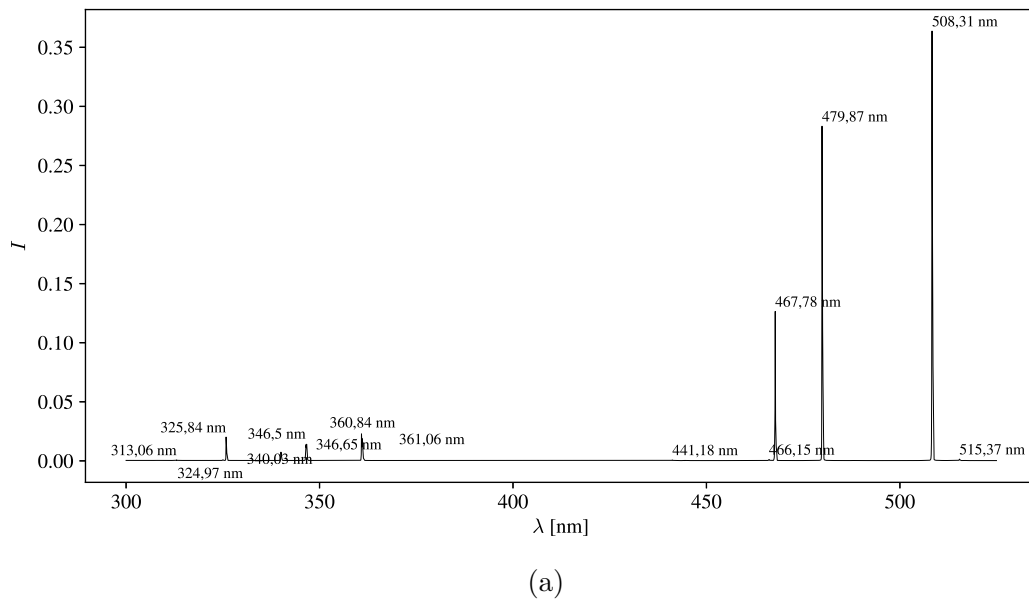
4 Resultat

I följande avsnitt presenteras de erhållna spektrumen för kadmium och krypton samt energinivådiagram för kadmium.

4.1 Kadmium

Emissionsspektrumet för kadmium, inom våglängdsintervallet 300–750 nm (uppdelat i två delar), presenteras i figur 6 och energinivådiagrammet i figur 7. I energinivådiagrammet har varje energinivå tillskrivits en LS-term på formen $n^{2S+1}L_J$ och varje övergång har även tillskrivits en våglängd. Till några av triplett-triplett-övergångarna har skillnaden i J

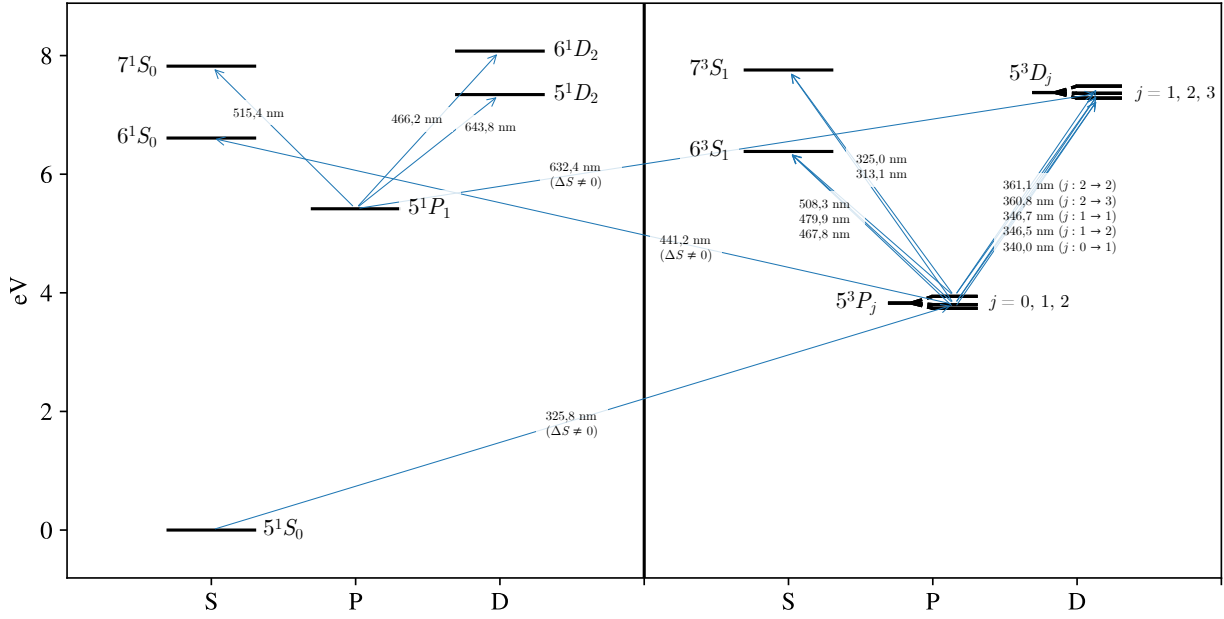
skrivits ut för att tydliggöra vilken våglängd som hör till vilken övergång. Ett fullständigt emissionsspektrum utan text finns i bilaga D.



Figur 6: Emissionsspektrum för kadmiumlampan i våglängdsintervallet (a) $\lambda = 300 \text{ nm} - 475 \text{ nm}$ och (b) $\lambda = 475 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$. Spektrallinjernas våglängder har skrivits ut i respektive figur. Tröskelnivån är satt till 10 gånger den uppskattade brusnivån för mätningen (MAD).

4.2 Krypton

För krypton presenteras emissionsspektrumet (uppdelat i två delar) i figur 8. Ett fullständigt emissionsspektrum utan text finns i bilaga D.



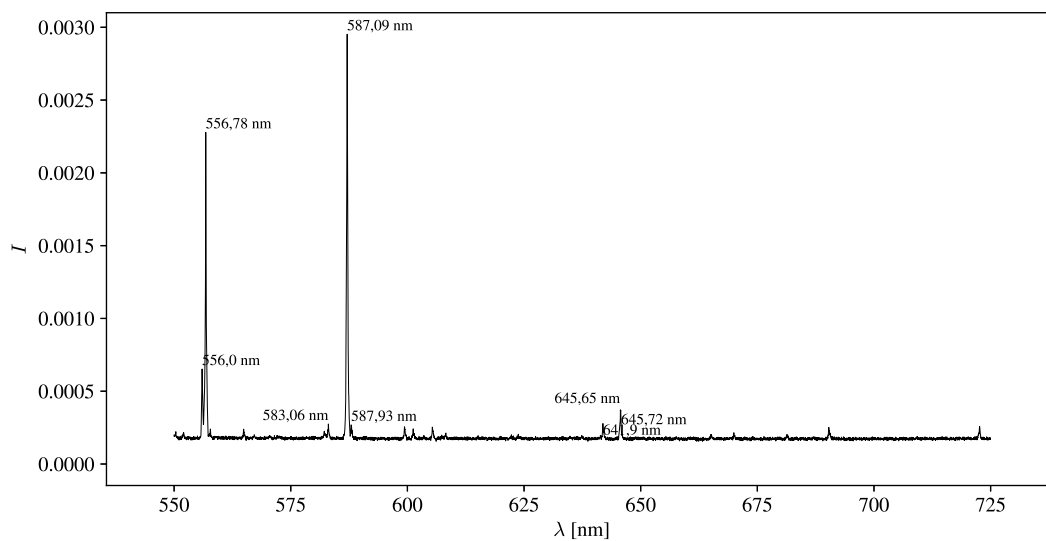
Figur 7: I figuren visas ett energinivådiagram för kadmium. Diagrammet har delats upp i en del för singlett-övergångar (t.v.) och en del för triplett-övergångar (t.h.). I diagrammet har grundtillståndets energi satts till 0 eV och således blir övriga energinivåers värden i relation till grundtillståndets. Notera att här har energinivåer för kadmium I (Cd I) ritats in. Värdena kring 722 nm tillhör spektrumet för Cd II och dessa har exkluderats.

5 Diskussion

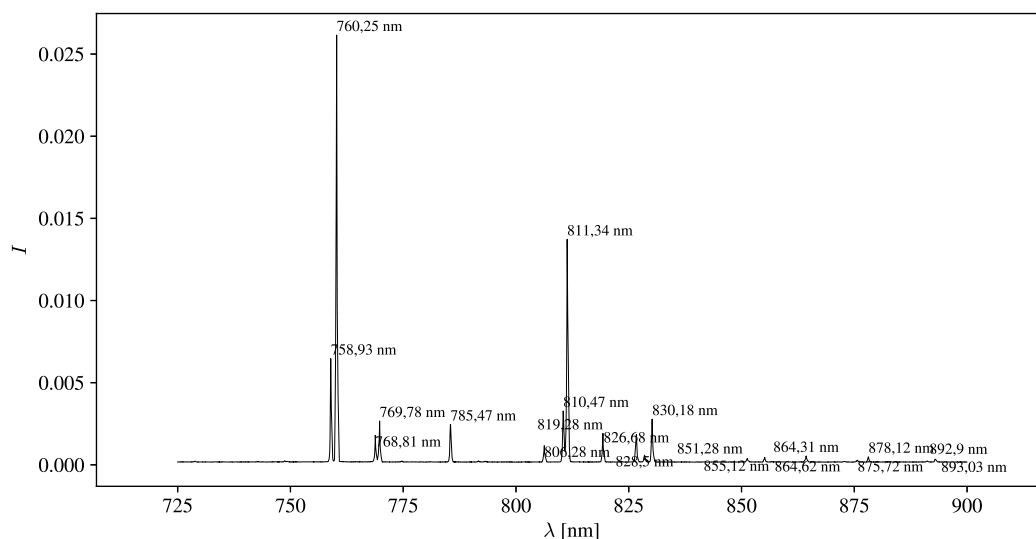
I spektrumet för kadmium, figur 6, erhöles några spektrallinjer (652,15 nm samt kring 693 nm) som inte fanns tabellerade i [6]. Eftersom dessa spektrallinjer inte heller dyker upp i spektrumet för krypton (figur 8) beror spektrallinjerna sannolikt inte på strålning från omgivningen. Spektrallinjerna kring 722 nm kunde heller ej hittas bland tabellvärdena i [6]. Dock hittades dessa bland övergångar för Cd II och då motsvarar dessa övergångar från $6^2D_{3/2} \rightarrow 6^2F_{5/2}$. Sammantaget kan en möjlig orsak till de extra spektrallinjerna vara att lampan inte är helt fri från orenheter.

En begränsning hos spektrometern som påverkade spektrumets upplösning var samplingsavståndet $1/32 \text{ nm} = 31,25 \text{ pm}$ och fotomultiplikatorns känslighet. Om de erhållna spektrallinjerna för kadmium jämförs med tabellvärden från [6] saknas en av tre täta spektrallinjer vid triplett-triplett-övergången $5^3P_1 \rightarrow 5^3D_j$, där $j = \{1, 2, 3\}$. En förklaring till detta skulle kunna vara felmarginalen på $\sim 0,03 \text{ nm}$ till varje spektrallinje. En annan förklaring skulle kunna vara att fotomultiplikatorn inte var tillräckligt känslig. Enligt [6] har nämligen övergången $5^3P_1 \rightarrow 5^3D_1$, vilken motsvarar $\lambda \approx 361,44 \text{ nm}$, betydligt lägre amplitud än de övriga två övergångarna. Amplituden skulle alltså kunna så pass låg att den inte kan urskiljas av fotomultiplikatorn.

Energinivådiagrammet i figur 7 innehåller några övergångar (441,2 nm och 623,4 nm) som svarar mot en förändring av det totala spinntalet S , vilket inte stämmer överens med urvalsreglerna för elektronövergångar som bland annat säger att $\Delta S = 0$ [3]. En förklaring till att de "förbjudna" övergångarna sker är spinn-bankoppling. Enligt [8] är dessa övergångar vanligare för övergångsmetaller i period V; alltså samma period som kadmium. Vidare för-



(a)



(b)

Figur 8: Emissionsspektrum för kryptonlampan i våglängdsintervallet (a) $\lambda = 550 \text{ nm} - 725 \text{ nm}$ och (b) $\lambda = 725 \text{ nm} - 900 \text{ nm}$. Spektrallinjernas våglängder har skrivits ut i respektive figur. Tröskelnivån är satt till 30 gånger den uppskattade brusnivån för mätningen (MAD).

knippas dessa övergångar ofta med låg intensitet i ett spektrum och det bekräftas av det uppmätta spektrumet i figur 7, där intensitetstopparna för 441,2 nm och 623,4 nm har låg intensitet.

Referenser

- [1] J. C. Brand, *Lines of light: the sources of dispersive spectroscopy, 1800-1930*. Routledge, 2017.
- [2] K. Siegbahn, "Electron spectroscopy for atoms, molecules, and condensed matter", *Reviews of Modern Physics*, årg. 54, nr 3, s. 709, 1982.
- [3] C. Nordling och J. Österman, *Physics Handbook for Science and Engineering*, 9. utg. Lund, Sverige: Studentlitteratur, 2021, kap. C.U 1.1 & F-7.5, s. 14, 16 & 326.
- [4] C. R. Nave, "Sodium Energy Levels", *HyperPhysics*, [Online]. Tillgänglig: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/sodium.html>, 2022-11-25.
- [5] National Institute of Standards and Technology (NIST), "Strong Lines of Sodium", [Online]. Tillgänglig: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/sodiumtable2.htm>.
- [6] National Institute of Standards and Technology (NIST), "NIST Atomic Spectra Database Lines CdI", [Online]. Tillgänglig: https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=Cd+I&limits_type=0&low_w=&upp_w=&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&I_scale_type=1&format=0&line_out=0&en_unit=0&output=0&bibrefs=1&page_size=15&show_obs_wl=1&show_calc_wl=1&unc_out=1&order_out=0&max_low_enrg=&show_av=2&max_upp_enrg=&tsb_value=0&min_str=&A_out=0&intens_out=on&max_str=&allowed_out=1&forbid_out=1&min_accur=&min_intens=&conf_out=on&term_out=on&enrg_out=on&J_out=on.
- [7] Jaymz07, *Grotrian diagram generator*. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/jaymz07/Grotrian>.
- [8] K. Haas, "11.3.1: Selection Rules", *LibreText Chemistry*, 13 aug. 2022. [Online]. Tillgänglig: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Inorganic_Chemistry_\(LibreTexts\)/11%5C%3A_Coordination_Chemistry_III_-_Electronic_Spectra/11.03%5C%3A_Electronic_Spectra_of_Coordination_Compounds/11.3.01%5C%3A_Selection_Rules](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Inorganic_Chemistry_(LibreTexts)/11%5C%3A_Coordination_Chemistry_III_-_Electronic_Spectra/11.03%5C%3A_Electronic_Spectra_of_Coordination_Compounds/11.3.01%5C%3A_Selection_Rules), (Hämtad: 2023-02-01).

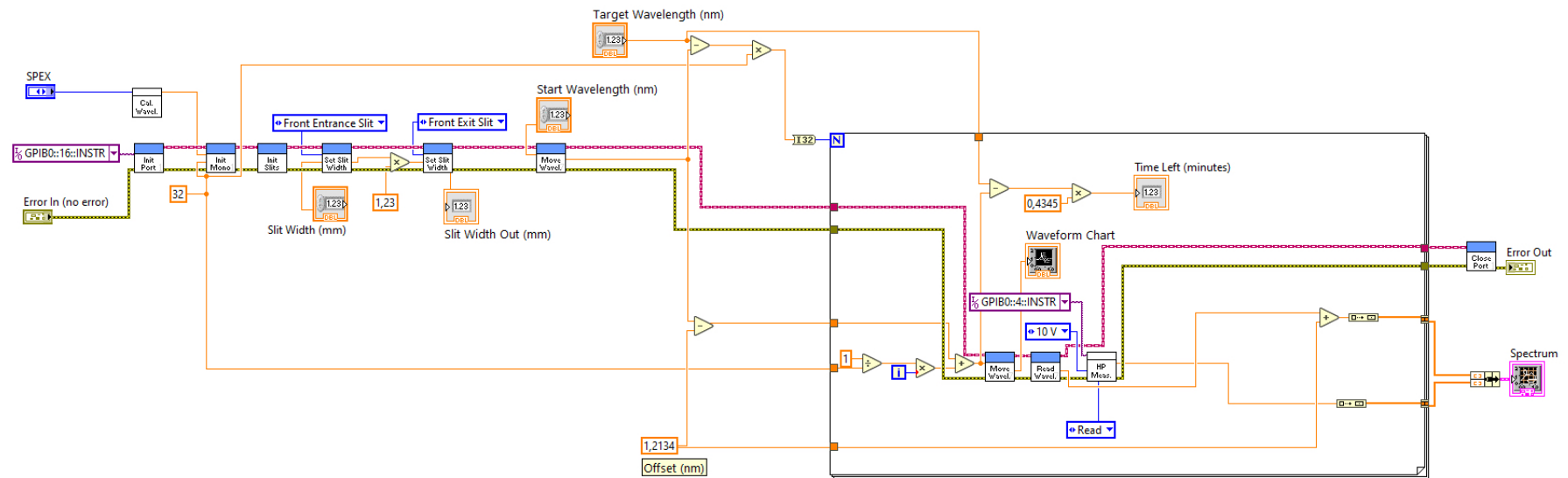
Bilagor

A Utrustningsförteckning

Tabell 1: Utrustningsförteckning.

Antal	Utrustning
1	Spektrometer <i>SPEX 270M</i>
1	Fotomultiplikatorrör <i>Hamamatsu R375</i>
1	Multimeter <i>HP 34401A</i>
1	Pico-amperemeter <i>Keithley 485 Autorange Picoammeter</i>
1	Spänningsaggregat
3	GPIB-kabel
1	PC med programvaran LabVIEW
1	Spektrallampa, natrium (Na)
1	Spektrallampa <i>OSRAM Cd/10</i> , kadmium (Cd)
1	Spektrallampa, krypton (Kr)

B Källkod LabVIEW



Figur 9: Källkod LabVIEW

C Källkod Python spektrum

```
import csv
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.signal import find_peaks
from adjustText import adjust_text

def read_csv_data(filename, delimiter, x_col, y_col):
    """
    Read data from a CSV file and return as two lists.

    Parameters:
    - filename (str): The name of the CSV file to read.
    - delimiter (str): The delimiter used in the CSV file.
    - x_col (int): The index of the column to use for the x data.
    - y_col (int): The index of the column to use for the y data.

    Returns:
    - xs (list): The x data.
    - ys (list): The y data.
    """
    xs = []
    ys = []
    try:
        with open(filename, 'r') as read_obj:
            csv_reader = csv.reader(read_obj, delimiter=delimiter)
            row_idx = 0
            for row in csv_reader:
                if row_idx > 0:
                    xs.append(row[x_col])
                    ys.append(row[y_col])
                row_idx += 1
    except IOError:
        print(f"Error opening file {filename}.")
    except ValueError:
        print(f"Error reading data from file {filename}.")
    return xs, ys

def conv_to_np_array(array):
    """Convert a list to a NumPy array."""
    return np.array(array, dtype=float)

def find_spectral_lines(array, threshold):
    """
    Find peaks in the array above the given threshold.

    Parameters:
    - array (np.array): The array to search for peaks.
    - threshold (float): The minimum height for a peak to be considered.

    Returns:
    - peak_idx (np.array): The indices of the peaks in the array.
    """
    peak_idx, _ = find_peaks(array, height=threshold)
    return peak_idx
```

```

def plot_spectrum(wavelengths, intensities, spectral_line_idx, texts):
    """
    Plot the spectrum with spectral line labels.

    Parameters:
    - wavelengths (np.array): The wavelengths of the spectrum.
    - intensities (np.array): The intensities of the spectrum.
    - spectral_line_idx (np.array): The indices of the spectral lines.
    - texts (list): A list to store the text labels for the spectral lines.
    """
    plt.plot(wavelengths, intensities, linewidth=0.4, color='black')

    for spectral_line_id in spectral_line_idx:
        # Format the label text for the spectral line
        label_text = f"{str(np.round(wavelengths[spectral_line_id],
        ↪ 2)).replace('.', ',')} nm"
        # Add the label to the plot
        texts.append(plt.text(wavelengths[spectral_line_id],
        ↪ intensities[spectral_line_id], label_text,
        ↪ horizontalalignment='center', verticalalignment='bottom',
        ↪ fontsize=9))
    # Adjust the position of the labels to avoid overlaps
    adjust_text(texts, only_move={'points': 'y', 'texts': 'y'})

def estimate_noise_level(spectrum):
    """
    Estimate the noise level in a spectrum using the median absolute deviation (MAD)
    ↪ method.

    Parameters:
    - spectrum (np.array): The spectrum to analyze.

    Returns:
    - noise_level (float): The estimated noise level in the spectrum.
    """
    # Calculate the median of the spectrum
    median = np.median(spectrum)
    # Calculate the absolute deviation from the median
    abs_dev = np.abs(spectrum - median)
    # Calculate the median of the absolute deviation
    mad = np.median(abs_dev)
    # Estimate the noise level using the MAD
    noise_level = 1.4826 * mad
    return noise_level

def main():
    # LaTeX font
    plt.rcParams['mathtext.fontset'] = 'cm'
    plt.rcParams['font.family'] = 'STIXGeneral'
    font_size = 12

    # Read data
    wavelengths, intensities = read_csv_data(filename='cd_data.csv', delimiter=';',
    ↪ x_col=0, y_col=1)

```

```

wavelengths = conv_to_np_array(wavelengths)
intensities = conv_to_np_array(intensities)

# Set threshold
threshold = estimate_noise_level(intensities)*10 # Cd: 10, Kr: 30

# Split data
wavelengths = np.split(conv_to_np_array(wavelengths), 2)[0]
intensities = np.split(conv_to_np_array(intensities), 2)[0]

# Find peaks
spectral_line_idx = find_spectral_lines(array=intensities, threshold=threshold)

# Plot
plt.figure(figsize=(10, 5))
texts = []
plot_spectrum(wavelengths, intensities, spectral_line_idx, texts)

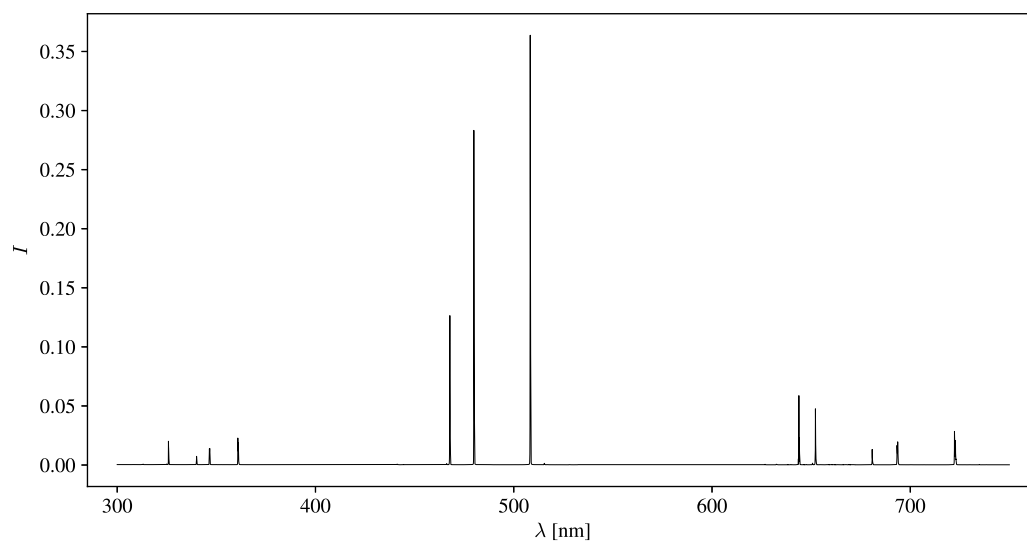
# Plot configurations
plt.xlabel('$\lambda$ [nm]', fontsize=font_size)
plt.ylabel('$I$', fontsize=font_size)
plt.xticks(fontsize=font_size)
plt.yticks(fontsize=font_size)
plt.xlim(np.min(wavelengths)-np.max(wavelengths)*0.02, np.max(wavelengths)*1.02)
plt.ylim(-np.max(intensities)*0.05, np.max(intensities)*1.05)

plt.show()

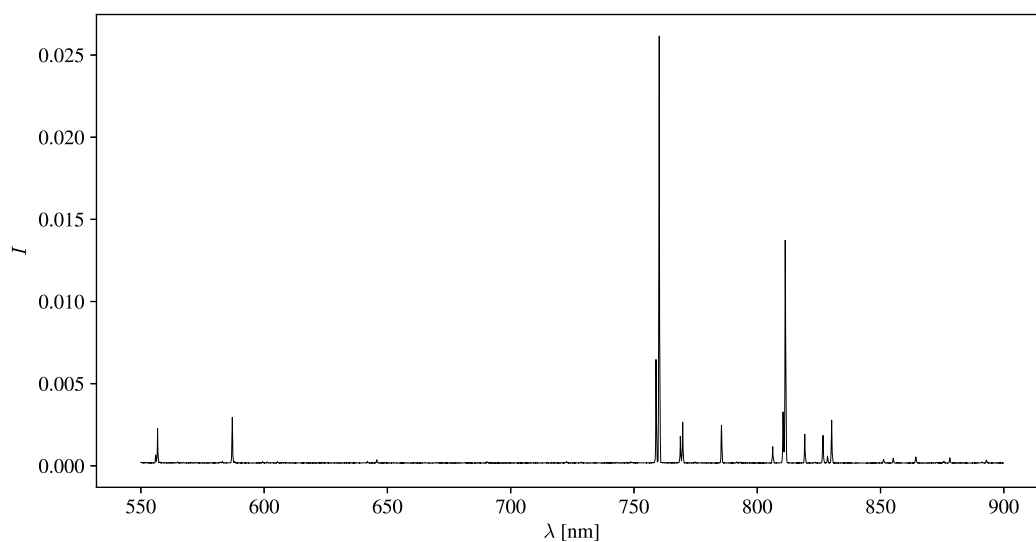
if __name__ == '__main__':
    main()

```


D Fullständiga emissionsspektra utan text



Figur 10: I figuren visas emissionsspektrat för kadmium i intervallet $\lambda = 300 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$ i sin helhet.



Figur 11: I figuren visas emissionsspektrat för krypton i intervallet $\lambda = 550 \text{ nm} - 900 \text{ nm}$ i sin helhet.

E Laborationslogg

Bestämmande av emissionspektrum Cd och Kr

Labblogg | Kvantfysik

Experimentell fysik 2

Jonatan Haraldsson

Oscar Lindberg

2022-12-09 — 2022-12-13

Uppstart kl.11 22-12-09

Vi fick en genomgång av spektrometern och vi har även fått en beskrivning över hur vi ansluter till de olika instrumenten med GPIB. Adresserna är 4, multimetern, 16 Spexen (SPEX2) och 6 picoampère-metern.

Vi fick även en genomgång på hur det fungerar med spektrallamporna.

Planen nu är att försöka bekanta oss med de färdigskrivna LabView-skripten och sedan komponera ihop ett eget skript.

I programmet vill vi kunna:

- Justera in- och utspalter \leftarrow *Initieringsteg.*
- Mäta våglängd \leftarrow *Read wave.*
- Justera gitter \leftarrow *Move wave*
- Mäta intensitet.

Plott med $I(\lambda)$

Vi funderar på hur vi ska få in subVI att kunna mäta intensitet. Det finns ett program som heter readintensity som vi funderar på att använda.

Vi har även lyckats skapa ett program där vi kan justera in- och utspaltsstorleken. Där satte vi ut $= 1.23 \cdot \text{in}$. Just nu undersöker vi skillnaden mellan readintensity och HPmeasure samt hur vi får in dessa som subVI:s i vår kod. Vi har importerat in VI:s ReadIntensity och vi kör en mätning med natriumlampen under lunchpaus. I mätningen sveps våglängden från 550nm till 650nm.

Åter efter lunch kl.15.

Körningen blev ingen vidare. Blev bara brus... Istället provar vi att köra VI HP-measure och det verkar fungera mycket bättre. Vi får en något utsmetad topp kring 588nm, då körde vi med 0.2mm slit. Vi provade igen med 0.1mm och fick en mer tydlig dubbeltopp kring 588nm. Efter lite räkning kom vi fram till att båda topparna ligger ungefär 1.3nm för lågt jämfört med tabellvärdena. För att få en ännu krispigare bild provar vi att sänka sliten ännu mer. Med en slit på 0,05mm fick vi en mycket fin dubbeltopp. Vi har även provat att köra med 0,03mm och 0,02 mm och vi får då toppar på EXAKT samma ställe upprepade gånger. På sista körningen hade vi en förstärkning på 0.15 och en förskjutning på 1,1508nm.

Uppstart kl.10:00 2022-12-10

Vi började dagen med att köra en kalibrering med Na-lampan igen. Vi stötte dock på lite patrull... multimetern gav ERROR när vi körde read-kommandot. Vi provade att starta om datorn och även alla mätinstrument och det verkade fungera. Vid körningarna låg topparna lite mer åt vänster jämfört med igår. Vi har justerat för det och kör nu några till mätningar med Na-lampan.

Förskjutningen har ändrats till 1,2134 och vi kör med slit-width $= 0,03\text{mm}$, vilket ger oss spetsiga toppar. Efter ytterligare några kalibreringskörningar kommer vi köra med en offset på 1,2134 nm.

Tabell: Här visas resultatet från kalibreringen

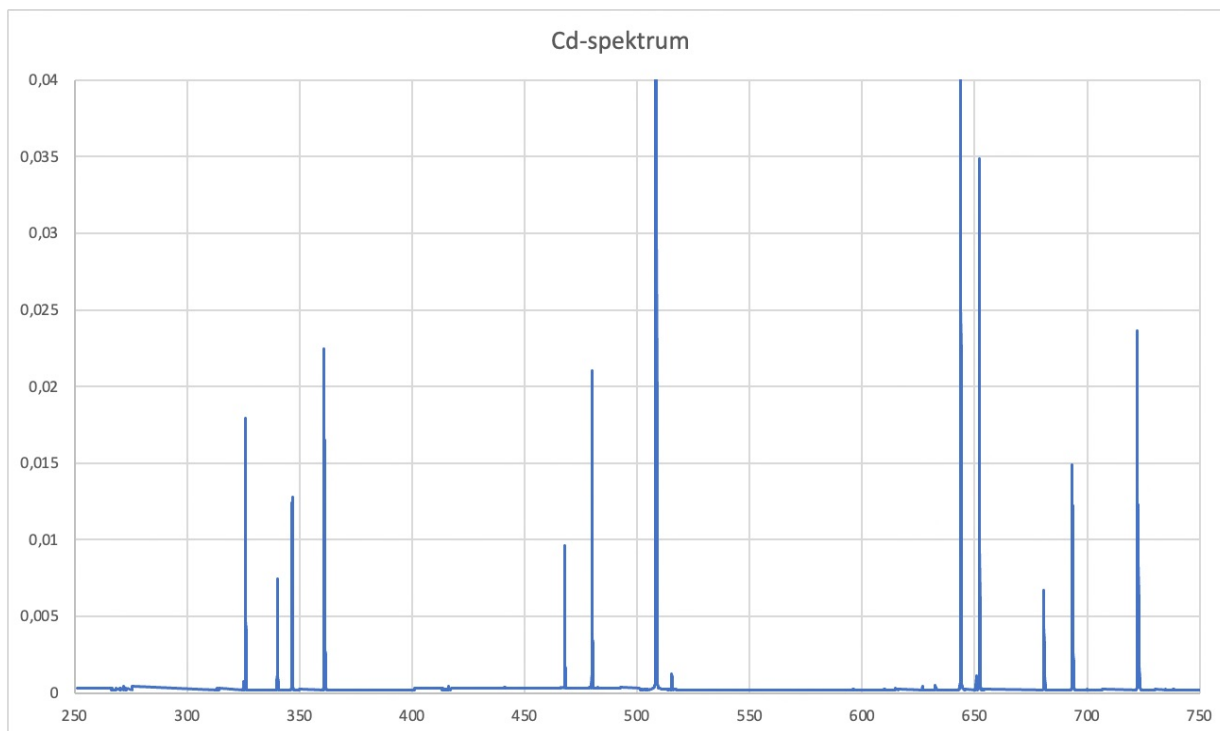
Mätning nr	Topp1 uppmätt	Topp2 uppmätt	Topp 1 Tabell	Topp 2 Tabell	Differens 1	Differens 2	Medeldiff	Kommentar
1	587,815	588,471	588,9953	589,5923	1,1803	1,1213	1,1508	Ingen justering
2	587,815	588,471	588,9953	589,5923	1,1803	1,1213	1,1508	
3	587,815	588,471	588,9953	589,5923	1,1803	1,1213	1,1508	
4	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	Justering med 1,1508 nm
5	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	
6	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	
7	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	
8	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	
9	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	Dag 2: Ny justering med 1,2134
10	588,872	589,559	588,9953	589,5923	0,1233	0,0333	0,0783	
11	588,981	589,638	588,9953	589,5923	0,0143	-0,0457	-0,0157	
12	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	
13	588,965	589,622	588,9953	589,5923	0,0303	-0,0297	0,0003	
14	588,966	589,622	588,9953	589,5923	0,0293	-0,0297	-0,0002	

Vid kl.11 känner vi oss nöjda med kalibreringen och ger oss nu på Cd-lampan. Mätningarna kommer delas upp i olika intervall för att det inte ska ta så lång tid och för att vi ska kunna se om det blir fel.

Cd-lampan är nu varm och vi kommer köra en mätning från 350nm till 500nm. Mätningen kommer enligt vår uppskattade tid ta ungefär en timme att köra. Mätningen gick väldigt bra och vi kan se tydliga spektrallinjer som ligger i nära tabellvärden. Ytterligare en mätning startades under lunchpausen; denna gång från 250nm-400nm.

Lunchpaus 12:40.

Efter lunch var mätningen klar och vi fick ett mycket bra resultat. Vi startar en till mätning från 450nm till 600nm. Vi startar ytterligare en mätning 590-750nm. Efter detta känner vi oss klara med Cd för nu.



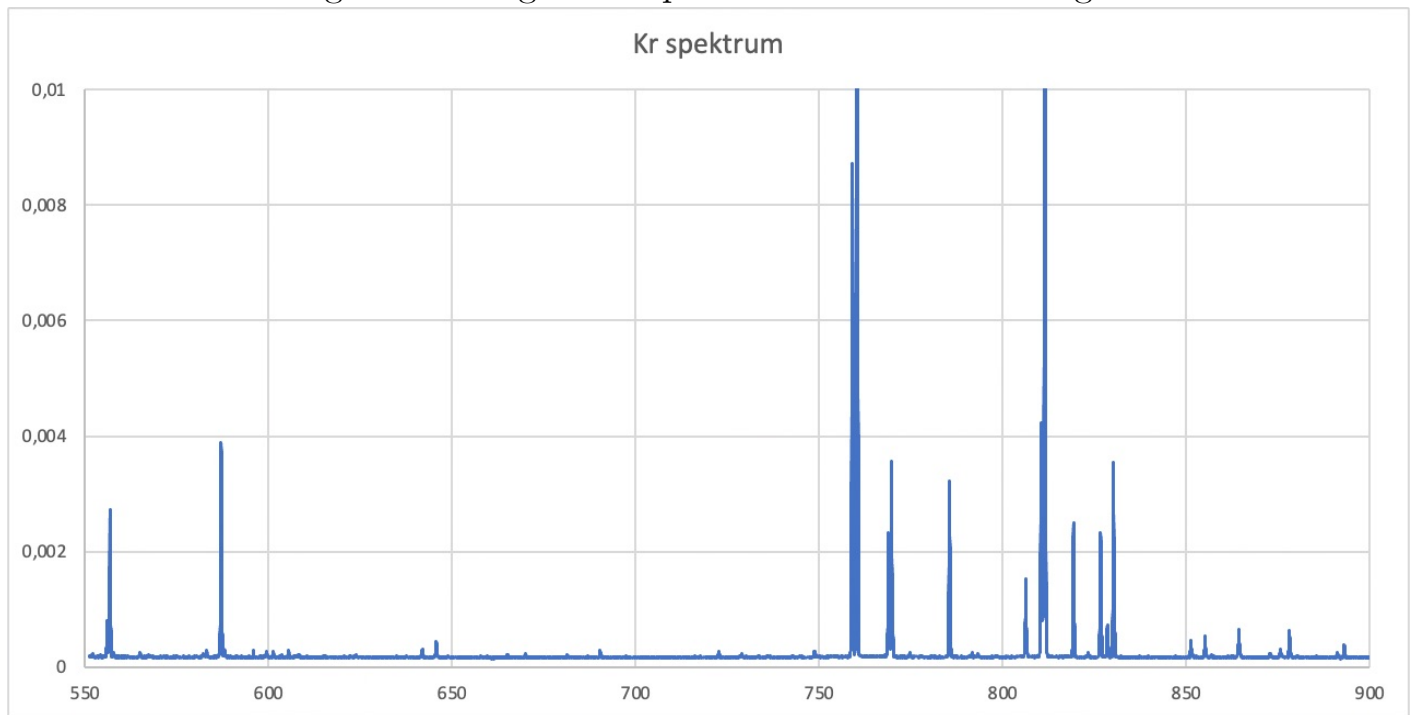
I figuren visas ett preliminärt spektrum för Cd. I och med att vi delade upp körningen i mindre intervall finns det en risk att topparnas storlekar skiljer sig åt litegrann mellan intervallen. I morgon planerar vi att köra en längre svepning över ett större intervall av våglängder. För att bättre kunna se om så är fallet.

16:00

Vi byter till en Kr-lampa och kör en mätning från 750nm till 790nm och kollar vad vi får. Det ser väldigt bra ut. Nu kör vi en mätning med Kr från 700-900nm (c.a. 90 min). Under tiden som mätningen pågår börjar vi jämföra spektrallinjer från Cd med data från NIST <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/cadmiumtable2.htm>. Vi kan observera att många av topparna verkar stämma överens. Just nu är det svårt att göra en noggrann analys då diagram-funktionen i **Excel** sätter lite begränsningar. En mer noggrann analys planeras att genomföras under morgondagen i **Python**.

Kl.20:

Nu är vi klara med dagens mätningar och spektrumet för Kr ser riktigt fint ut.



I morgon väntar

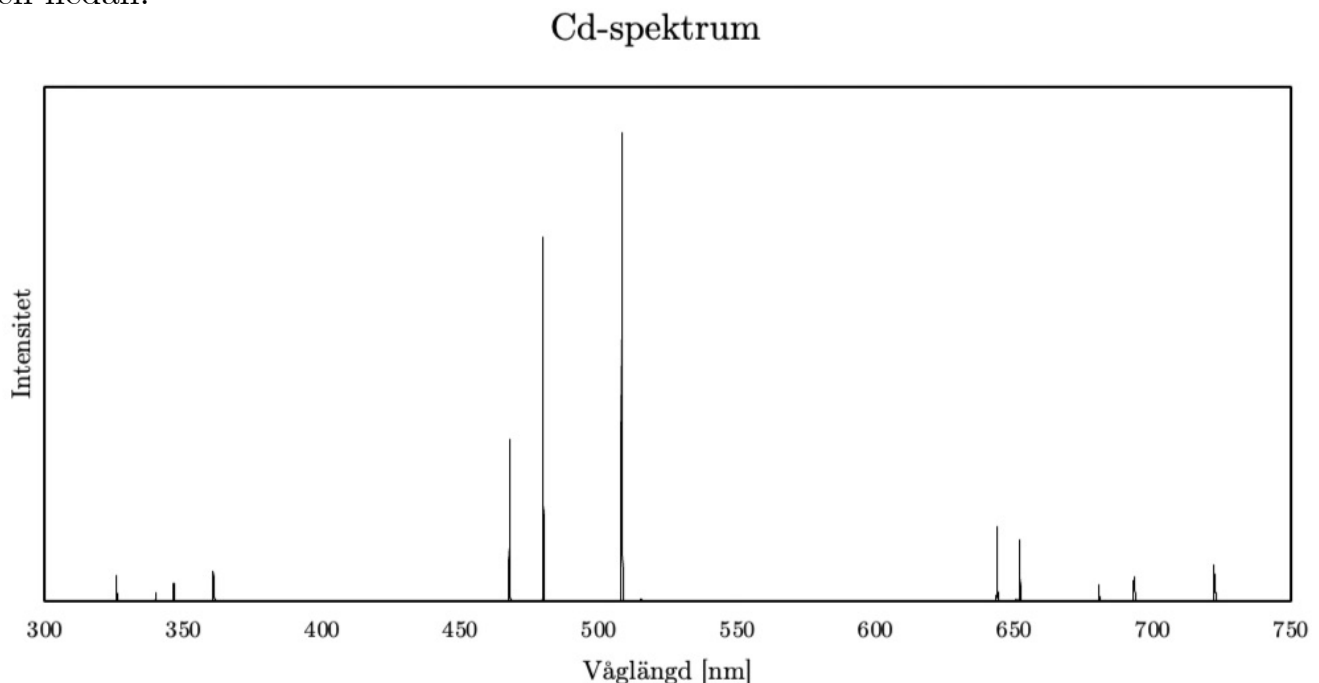
- Kalibrera med Na.
- Svepa över långa intervall för Cd (300-750nm) och Kr (550-900nm).
- Ta en fin bild på spektrallamporna till rapporten, framförallt Cd som ser riktigt tjugig ut.
- Jämföra erhållna data med NIST-tabellen.

Uppstart kl.10:30 22-12-11

Vi började dagen med att kalibrera utrustningen med Na-lampan. Efter två mätningar med samma värden på dubbeltopparna som igår kände vi oss nöjda med kalibreringen.

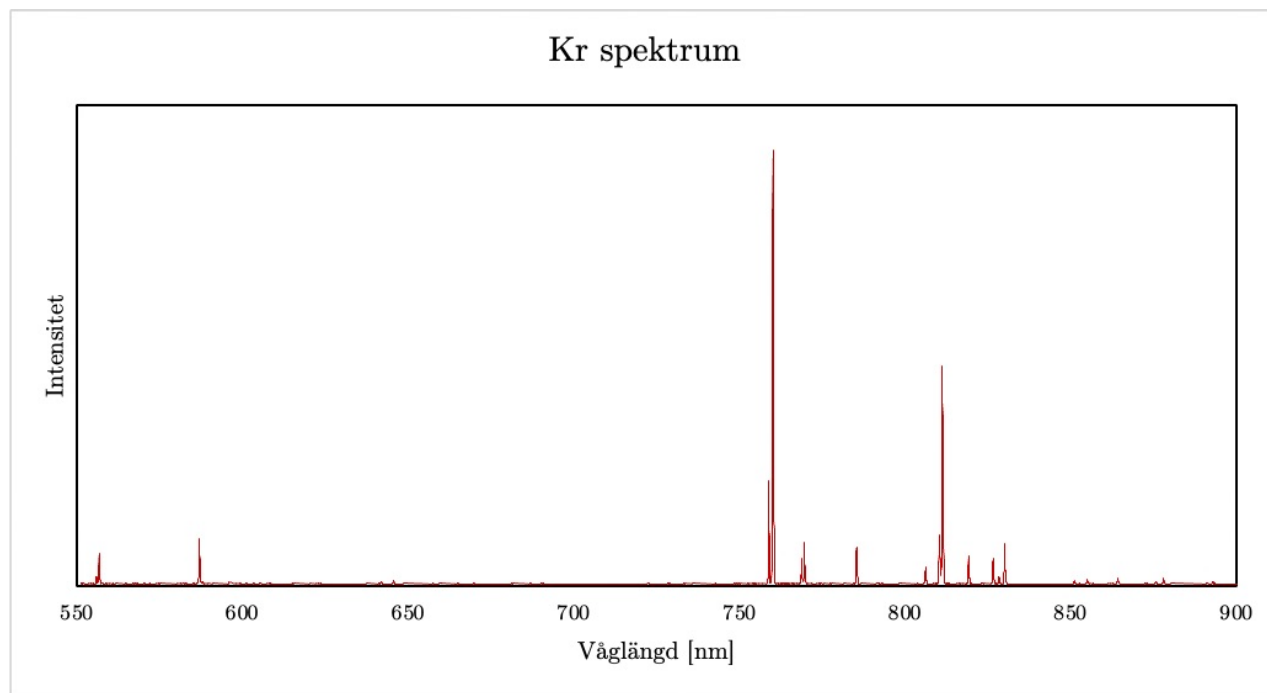
Vid kl.11:15 startade vi en mätning från 300-750nm för Cd. Mättiden beräknas bli ungefär 3 timmar och 30 minuter så i mellantiden ser vi till att skriva lite på rapporten.

14:45 var vi tillbaka i labbet och mätningen var klar. Spektrumet från svepningen visas i figuren nedan.



Resultatet blev mycket bra och vi ger oss på ytterligare en lång svepning fast denna gången med krypton. Då kommer vi svepa från 550-900nm. Körningen beräknas ta ungefär 2:30 och under tiden fortsätter vi med rapportskrivandet.

17:15 är vi tillbaka i labbet och mätningen för kryptonet är klart. Spektrumet visas i figuren nedan.



Efter detta är vi nöjda med mätningar för dagen. Vi får se om vi återkommer i morgon med fler mätningar eller om det är tillräckligt. Även om vi bara fått två hela spektrum för vardera grundämne anser vi att spektrumen har sett väldigt bra ut. Vidare har vi haft mätningar i gång under ungefär 12 timmar denna helgen.

Under tiden som mätningarna varit igång har vi jämfört resultaten från Cd med värden från tabeller på NIST. De flesta av topparna vi får stämmer överens mycket väl med värdena från NIST-tabellen.

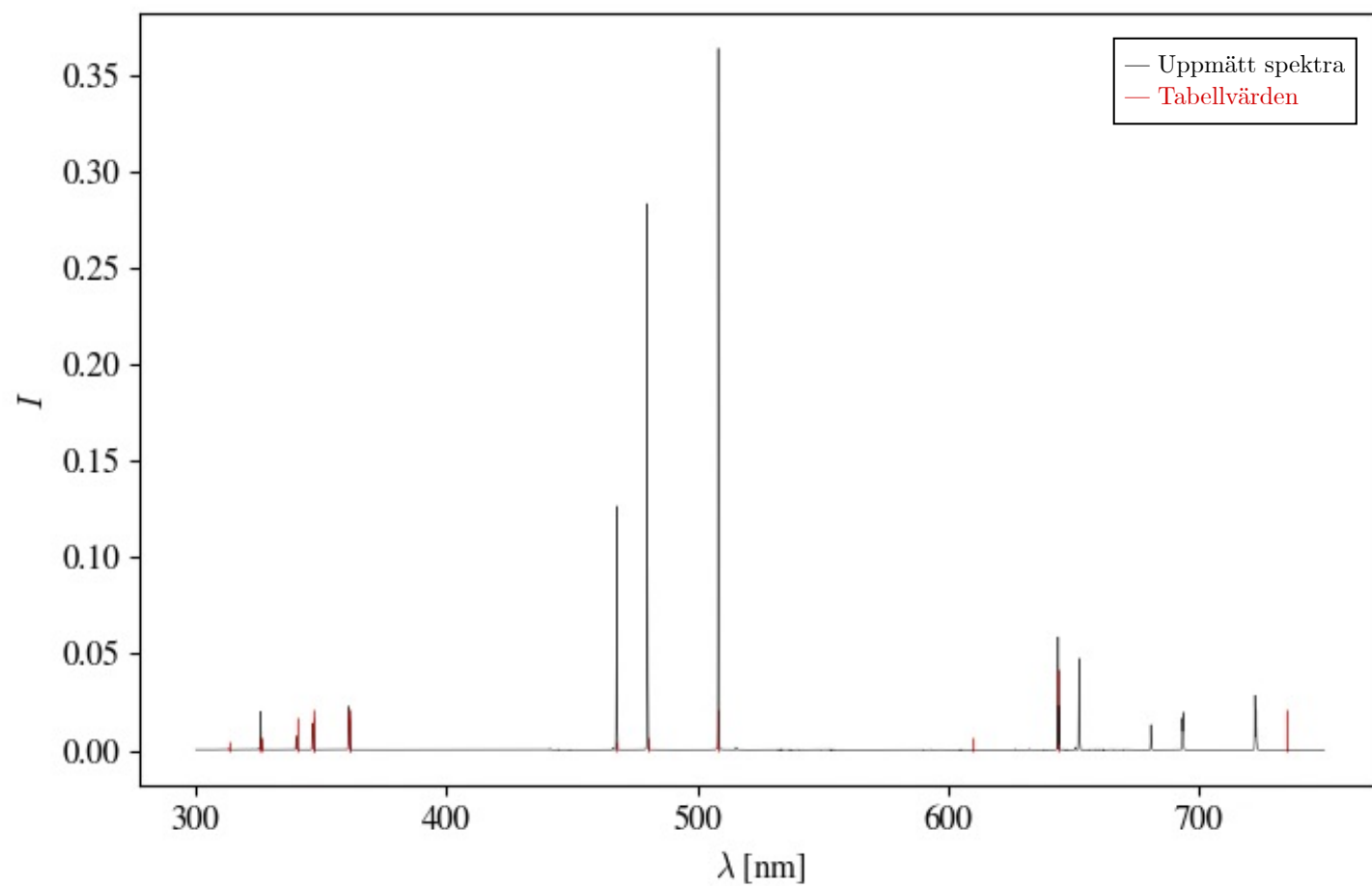
Kl. 18 beger vi oss hemåt.

Kl. 11 22-12-12

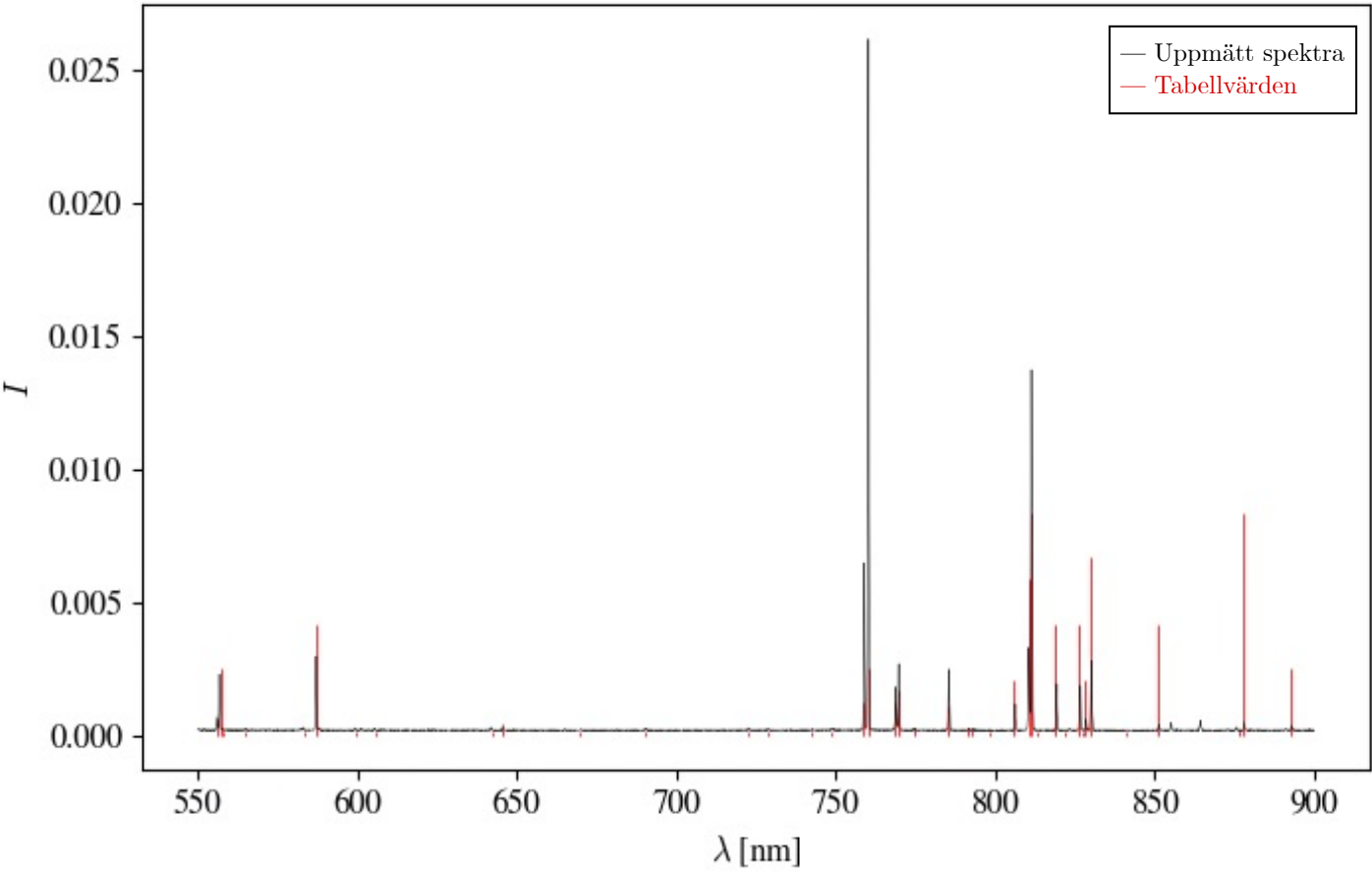
Vi går till labbet och plockar in spektrallamporna och städar iordning utrustningen.

Vi har även tagit tabellvärden från NIST och plottat dessa tillsammans med vårt spektrum. Figurerna visas på nästa sida först Cd sedan Kr.

Cadmium: Det är lite svårt att matcha in höjden på NIST:s spektrallinjer så att de passar med våra på ett bra sätt. Vi får dock att nästan alla spektrallinjer stämmer överens med de vi har fått. Vi har fått en linje vid 723nm som inte finns i NIST, däremot finns 750 nm i NIST.



Krypton: Här har vi spektrallinjer som stämmer väl överens med våglängderna i NIST-tabellen. Det är lite svårt att urskilja i denna bilden och det krävs att man zoomar in mycket för att se något. Vi har fått två spektrallinjer mellan 850nm-900nm som inte fanns med i tabellen.



För Cd har vi fått "extra" två spektrallinjer kring 700nm, vilket vi vid första anblick tänkte berodde på störningar i omgivningen. Dock får vi inte några toppar kring 700nm för Kr, vilket tyder på att Cd-lampan faktiskt avger ljus i det intervallet. Vi planerar att fortsätta undersöka detta inför de slutgiltiga rapportskrivandet.