

3 февраля 2023 года

Сначала, пожалуйста, прочитайте следующее:

1. Экспериментальный тур состоит из одной задачи. Продолжительность тура 4 часа.
2. Для расчетов Вы можете использовать свой калькулятор.
3. Вам предоставлены чистые листы бумаги, которые предназначены для черновых записей, их Вы можете использовать по Вашему усмотрению, они не проверяются. На *Writing sheets* следует записывать решение задачи, которое будет оценено при проверке работы. Можете записывать очень короткие пояснения, используя уравнения, числа, буквенные обозначения.
4. Используйте только лицевую сторону *Writing sheets*. При записи не выходите за пределы отмеченной рамки.
5. Графики необходимо строить на *Writing sheets* в области с миллиметровой бумагой. Все построения производите ручкой, а не карандашом! Если вам нужны дополнительные *Writing sheets* с миллиметровой бумагой, то вы можете найти их в конце вашего комплекта заданий.
6. На каждом использованном *Writing sheets*, в отведенных для этого графах, необходимо указать Вашу страну (*Country*), Ваш код (*Student Code*), порядковый номер задачи (*Question Number*), текущий номер каждого листа (*Page Number*) и полное количество листов, использованных при решении всех задач (*Total Number of Pages*). Если Вы не хотите, чтобы некоторые использованные *Writing sheets* были включены в ответ, тогда перечеркните их большим крестом на весь лист и не включайте в Ваш подсчет полного количества листов.

Фурье-спектрометр¹

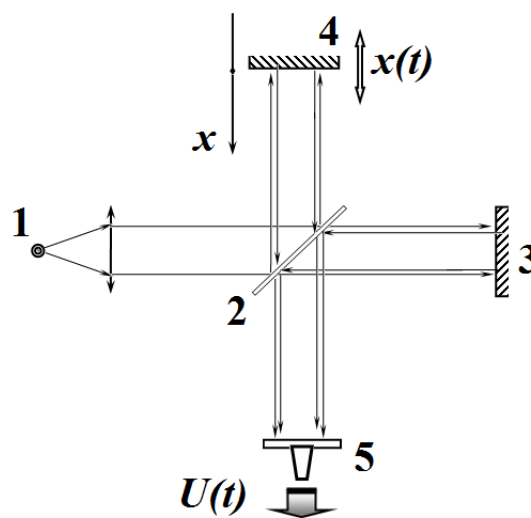
Введение

Основной элемент Фурье спектрометра – интерферометр Майкельсона.

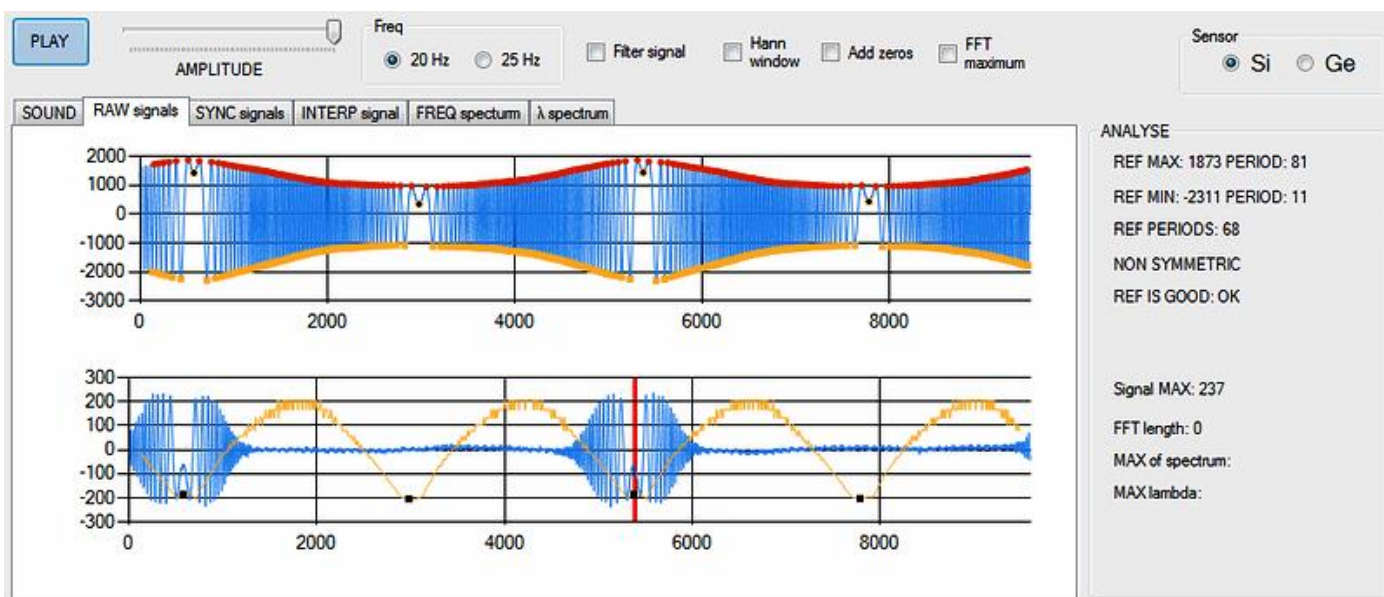
Допустим, у нас имеется когерентный источник излучения с определенной длиной волны. Когда разность хода двух лучей, пришедших в приемник, кратна половине длине волны, то есть лучи пришли в противофазе, интенсивность регистрируемого излучения близка к нулю. При перемещении одного из зеркал интерферометра разность хода лучей изменяется, поэтому изменяется и интенсивность света, регистрируемая приемником. Известно, что интенсивность будет максимальная, когда разность хода кратна длине волны.

Если одно из зеркал интерферометра движется с постоянной скоростью, тогда на выходе приемника будет наблюдаться синусоидальный сигнал. Амплитуда синусоиды пропорциональна интенсивности света, а ее период зависит от длины волны.

На рисунке показана схема интерферометра Майкельсона. Световой поток от источника 1 с помощью линз формируется в параллельный пучок лучей и направляется на светоделительную пластинку 2. Часть света (половина по интенсивности) проходит через пластинку, попадает на неподвижное зеркало 3, полностью отражается от него и снова попадает на пластинку 2, отражается от нее и попадает на экран с фотоприемником 5. Вторая половина светового потока от источника 1 отражается от светоделительной пластинки 2 и попадает на подвижное зеркало 4, отражается от него, проходит через пластинку 2 и также попадает на экран с фотоприемником 5. Таким образом, на экран попадают две когерентные волны, отраженные от зеркал 3 и 4. Эти волны интерферируют между собой, а приемник регистрирует результирующую интенсивность света на экране, как функцию времени. Эта функция записывается в память компьютера для последующей обработки.



Для иллюстрации приводим фотографию зарегистрированного сигнала из указанной статьи.



Теперь представим, что зеркало 4 движется неравномерно и/или источник света не является монохроматическим, то есть содержит в себе несколько длин волн. Таким образом, на выходе будем иметь более сложный чем синусоидальный сигнал. При соответствующей математической обработке

¹ Данное задание разработано на основе материалов статьи «Самодельный Фурье-спектрометр» (<https://habr.com/ru/post/253947/>).

этого сигнала можно получить закон движения зеркала 4 или спектр излучения источника света, то есть интенсивность излучения на различных длинах волн.

При выполнении заданий используйте упрощающие положения и обозначения:

- 1) регистрируемое фотоприемником напряжение $U(t)$ пропорционально интенсивности света, чувствительность фотоприемника не зависит от длины волны света; с помощью электронной схемы постоянная составляющая сигнала отрезается, поэтому на графиках отражается только переменная составляющая;
- 2) подвижное зеркало колеблется по гармоническому закону $x(t)$ с частотой 20 Гц и постоянной амплитудой; можно считать, что при $x = 0$ разность хода интерферирующих волн равна нулю;
- 3) интенсивности интерферирующих на приемнике волн равны;
- 4) начало регистрации сигнала согласовано с движением подвижного зеркала и всегда начинается при одном и том же положении зеркала;
- 5) регистрация сигнала проводится в равноотстоящие моменты времени и записывается в ячейки памяти, которые в дальнейшем нумеруются целыми значениями t . Фактически t есть время регистрации в относительных единицах.
- 6) на всех рисунках приводятся графики зависимостей регистрируемого напряжения $U(t)$ от номера ячейки памяти t . Для упрощения работы к каждому графику прилагается таблица, в которой указаны положения экстремумов (максимумов и минимумов) зарегистрированного сигнала t_m , эти экстремумы нумеруются буквой m .

Внимание! На отдельных листах *Writing sheets* приведены зарегистрированные сигналы зависимости напряжения на фотоприемнике от времени, которые вам предстоит обрабатывать. Отметим, что приведены только часть всех сигналов. При выполнении данного задания Вам нет необходимости использовать все приведенные численные данные. Используйте только те, которые считаете необходимы для расчета требуемых величин. При построении графиков используйте разумное количество данных (10-15 точек), однако помните, что точность расчетов повышается при увеличении числа используемых данных. Обязательно указывайте в решении, какие данные Вы используете, также обязательно приводите формулы, по которым проводятся расчеты. Для проведения расчетов **Вы должны** использовать подготовленные таблицы в *Writing sheets*. Для построения графиков используйте бланки, приведенные в тех же *Writing sheets*. **Обратите внимание, что только *Writing sheets* будут оцениваться.** Для черновых записей вы можете использовать белые листы бумаги, но они оцениваться не будут!

Задания

1. Теоретическая часть

Интерферометр освещается монохроматическим излучением с длиной волны λ .

1.1 Обозначим интенсивность каждой из интерферирующих волн I_0 , сдвиг фаз между волнами $\Delta\varphi$.

Запишите формулу для интенсивности I результирующей волны.

1.2 Запишите формулу для интенсивности волны на приемнике $I(x)$ в зависимости от положения подвижного зеркала x .

1.3 Запишите формулы, указывающие, при каких значениях координаты зеркала x_m интенсивность света на экране будет максимальна, а при каких минимальна.

1.4 Запишите общую формулу, определяющую координату зеркала x_m , при которой интенсивность света на экране экстремальна.

2. Монохроматическое излучение известной длины волны – градуировка прибора

На рисунке 1 показана зависимость интенсивности света от времени при освещении интерферометра монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda_0 = 0.640$ мкм. В таблице 1 приведены значения времен t_m , при которых интенсивность света экстремальна (максимумы и минимумы), а также значения сигнала U_m в эти моменты времени.

2.1 Определите цену деления $\Delta t = 1$ использованной временной шкалы данного устройства в миллисекундах.

В дальнейшем все расчеты проводите в условных единицах шкалы прибора.

2.2 На основе приведенных экспериментальных данных покажите, что движение зеркала может быть описано функцией

$$x(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - t_0)\right). \quad (1)$$

Определите значения параметров этой функции: период T в единицах цены деления шкалы; амплитуду колебаний A в микрометрах; момент времени t_0 , при котором $x = 0$. Постройте линеаризованный график зависимости (1), доказывающий применимость этой формулы для описания колебаний зеркала. Оцените погрешность определения амплитуды колебаний ΔA .

Функцию (1) с найденными значениями параметров следует использовать при выполнении следующих частей задания.

3. Монохроматическое излучение с неизвестной длиной волны

Интерферометр освещается монохроматическим излучением с неизвестной длиной волны, которую вам необходимо определить.

На рисунке 2 показана зависимость интенсивности света от времени в этом случае. В таблице 2 приведены значения координат экстремумов этой функции.

3.1 Постройте график зависимости координаты зеркала x_m , при которых интенсивность экстремальная, от номера экстремума m .

3.2 Используя построенный график, определите с максимальной точностью значение длины волны λ света источника. Оцените погрешность $\Delta\lambda$ найденного значения.

4. Две монохроматические волны

Интерферометр освещается излучением, содержащим две монохроматические волны. Длина волны одной из них равна $\lambda_1 = 0.640$ мкм, а длина волны λ_2 второй неизвестна.

На рисунке 3 приведена зависимость интенсивности света на экране от времени. В таблице 3 приведены значения экстремумов приведенной функции.

4.1 Используя приведенные данные, определите с максимальной точностью длину волны λ_2 второй спектральной компоненты. Оцените погрешность найденного значения длины волны $\Delta\lambda_2$.

4.2 Определите отношение интенсивностей второй и первой волны I_2 / I_1 .

February 3, 2023

Please read this first:

1. The duration of the experimental competition is 4 hours. There is one problem.
2. You can use your own calculator for numerical calculations.
3. You are provided with white sheets of paper for drafts of your solutions, but these sheets will not be graded. Your final solutions must only be written on the *Writing sheets*. You can write very short explanations using equations, numbers, letters.
4. Use only the front side of *Writing sheets*. Write only inside the boxed areas.
5. Graphs must be drawn on *Writing sheets* within the graph paper area. All drawings must be done with a pen, not a pencil! If you need additional *Writing sheets* with the graph paper, you can find them at the end of your worksheet.
6. Fill in the boxes at the top of each *Writing sheet* with your country (**Country**), your student code (**Student Code**), problem number (**Question Number**), the progressive number of each *Writing sheet* (**Page Number**), and the total number of *Writing sheets* used (**Total Number of Pages**). If you use some blank *Writing sheets* that you do not wish to be graded, put a large X across the entire sheet and do not include it in your numbering.

Fourier spectrometer ¹

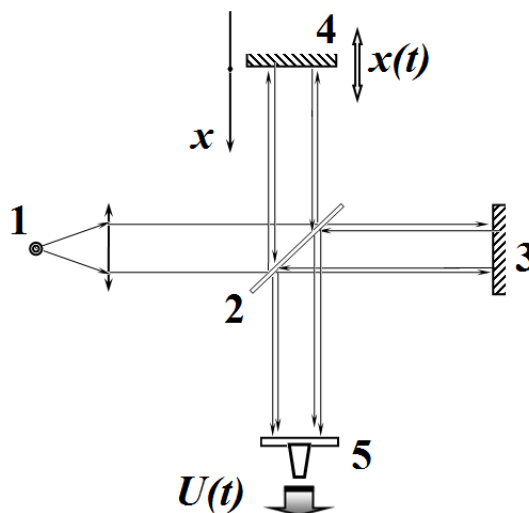
Introduction

The main element of the Fourier spectrometer is the Michelson interferometer.

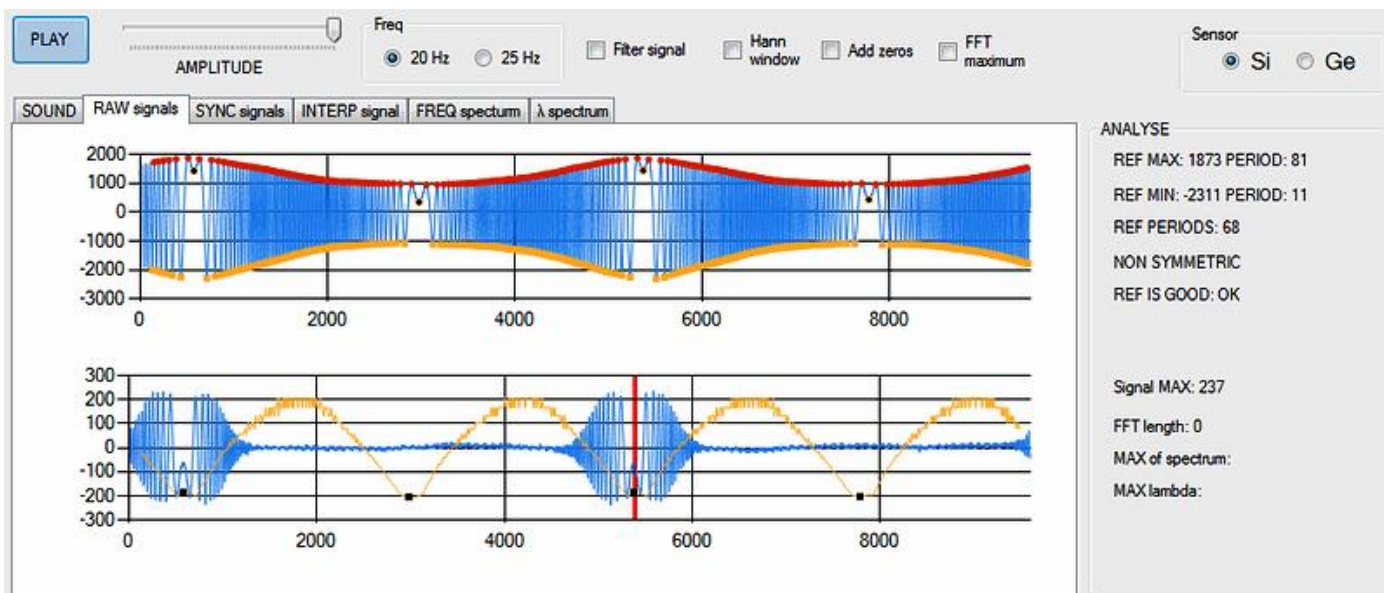
Assume that we have a coherent light source with a certain wavelength. When the difference in the path of the two beams that come to a receiver is a multiple of half the wavelength, that is, the beams come in antiphase, the intensity of the detected intensity is close to zero. When one of the mirrors of the interferometer is moved, the difference in the path of the light rays changes, so the light intensity recorded by the receiver also varies. It is known that the intensity is to be maximum when the path difference is a multiple of the wavelength.

If one of the mirrors of the interferometer moves at a constant speed, then a sinusoidal signal is to be observed at the output of the receiver. The amplitude of the sinusoid is proportional to the light intensity, and its period depends on the wavelength.

The figure shows a setup of the Michelson interferometer. The light flux from source 1 is formed by lenses into a parallel beam of rays and directed to beam splitter 2. Part of the light (half in intensity) passes through the plate to hit the fixed mirror 3 and is completely reflected from it, and then hits the plate 2 again to be reflected from it and hit the screen with the photodetector 5. The second half of the light flux from the source is reflected from the beam-splitting plate 2 to hit the movable mirror 4, it is then reflected to pass through the plate 2 and hit the screen with the photodetector 5. Thus, two coherent waves reflected from the mirrors 3 and 4 fall on the screen. These waves interfere with each other, and the receiver registers the resulting light intensity on the screen as a function of time. This function is written to the computer's memory for further processing.



For illustration, we present a photograph of the registered signal from the specified article.



Let us now imagine that the mirror 4 moves non-uniformly and/or the light source is not monochromatic, i.e. it contains several wavelengths. Thus, at the output a more complex than a sinusoidal signal is to be detected. With appropriate mathematical signal processing, it is possible to obtain the motion law of the mirror 4 or the light spectrum of the source, that is, the light intensity at different wavelengths.

When solving problems, use the following simplifying assumptions and notation:

¹ This problem is developed on the basis of the article « **Homemade Fourier spectrometer** » (<https://habr.com/ru/post/253947/>).

1) the voltage recorded by the photodetector is proportional to the light intensity, the sensitivity of the photodetector does not depend on the light wavelength; using an electronic circuit, the constant component of the signal is cut off, so only the variable component is reflected on the graphs;

2) the movable mirror oscillates according to a harmonic law $x(t)$ with a frequency of 20 Hz and a constant amplitude; it is assumed that at $x = 0$, the path difference of the interfering waves is equal to zero;

3) the intensities of the interfering waves at the receiver are equal;

4) the beginning of the signal registration is coordinated with the motion of the movable mirror and always starts at the same position of the mirror;

5) signal registration is carried out at equidistant moments of time and recorded in memory cells, which are further numbered with integer values t . In fact, the registration time t is recorded in relative units.

6) all the figures in the problem show graphs of the dependences of the recorded voltage on the number of the memory cell. To simplify the solution, each graph is accompanied by a table, which indicates the positions of the extrema (maxima and minima) of the registered signal t_m , the extrema themselves are numbered with the letter m .

Attention! On separate *Writing sheets*, the registered signals are given in the form of the dependence of the photodetector voltage on the time, which you are assumed to process. Note that only a part of all signals are given. When solving this problem, you do not need to use all the given numerical data. Use only those that you consider necessary to calculate the required values. When plotting, use a reasonable amount of data (10-15 points), but remember that the accuracy of the calculations increases when the number of data used grows. Be sure to indicate in the solution, which data you use, and be sure to include the formulas used for calculations. For calculations, **you must use** the prepared tables in the *Writing sheets*. To draw graphs, use the forms given in the same *Writing sheets*. **Please note that only *Writing sheets* are to be graded.** For draft notes, you can use white sheets of paper, but they will not be graded!

Problems

1. Theoretical part

The interferometer is illuminated by the monochromatic radiation with the wavelength λ .

1.1 Let us denote I_0 as the intensity of each of the interfering waves, and the phase shift between the waves as $\Delta\varphi$. Write down the formula for the intensity I of the resulting wave.

1.2 Write down the formula for the intensity $I(x)$ of the wave at the receiver as a function of the position of the movable mirror x .

1.3 Write down formulas indicating at what values x_m of the mirror position the light intensity on the screen is to be maximum or, correspondingly, minimum.

1.4 Write down the general formula that determines the mirror coordinate x_m , at which the light intensity on the screen is extreme.

2. Monochromatic radiation of a known wavelength as an instrument calibration

Figure 1 shows the dependence of the light intensity on the time when the interferometer is illuminated with monochromatic radiation with the wavelength $\lambda_0 = 0.640 \mu\text{m}$. Table 1 shows the times t_m at which the light intensity is extreme (maxima and minima), as well as the signal values U_m at corresponding time moments.

2.1 Determine the division value $\Delta t = 1$ of the device in milliseconds.

In the following, all calculations must only be carried out in the units of the instrument scale.

2.2 On the basis of the given experimental data, show that the motion of the mirror can be described by the function

$$x(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - t_0)\right). \quad (1)$$

Find the values of the parameters of this function: period T in units of the instrument scale; oscillation amplitude A in micrometers; point in time t_0 at which $x = 0$. Plot a linearized graph of dependence (1),

proving the applicability of the above formula to describe the oscillations of the mirror. Estimate the error ΔA in determining the amplitude of oscillations.

Function (1) with the found values of the parameters should be used when performing the following parts of the problem.

3. Monochromatic radiation with unknown wavelength

The interferometer is illuminated by a monochromatic radiation with an unknown wavelength that you have to determine.

Figure 2 shows the dependence of the light intensity on the time for this case. Table 2 shows the values of the extrema coordinates for this particular case.

3.1 Plot the dependence of the mirror coordinates x_m , at which the intensity is extreme, as a function of the number of the extremum .

3.2 Using the plotted graph, determine with maximum accuracy the value of the wavelength λ of the light source. Estimate the error $\Delta\lambda$ of the obtained value.

4. Two monochromatic waves

The interferometer is illuminated by radiation containing two monochromatic waves. The wavelength of one of them is $\lambda_1 = 0.640 \mu\text{m}$, and the wavelength λ_2 of the second is unknown.

Figure 3 shows the dependence of the light intensity on the screen as a function of the time. Table 3 shows the values of the extrema for this particular case.

4.1 Using the given data, determine with maximum accuracy the wavelength λ_2 of the second spectral component. Estimate the error $\Delta\lambda_2$ of the found value of the wavelength.

4.2 Determine the ratio of the intensities of the second and first waves I_2 / I_1 .

3 ақпан 2023 жыл

Алдымен мынаны оқып шығыңыз:

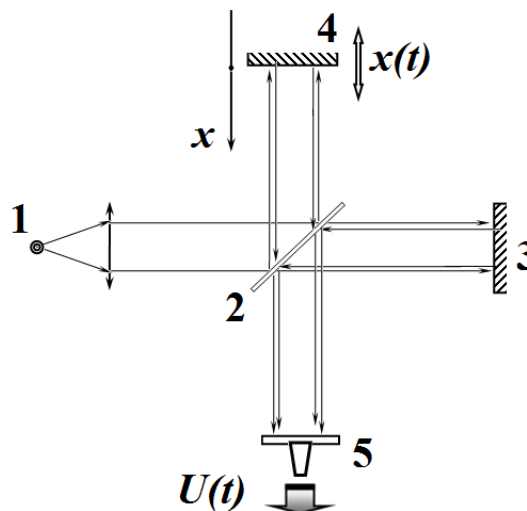
1. Эксперименттік түр бір тапсырмадан тұрады. Түр ұзақтығы 4 сағат.
2. Есептеу үшін калькуляторды пайдалануға болады.
3. Жазба жобаларына арналған бос қағаз парақтары ұсынылады, оларды өз қалауыңыз бойынша пайдалануға болады, олар тексерілмейді. **Жазу парақтарында** тапсырманың шешімін жазу керек, ол жұмысты тексеру кезінде бағаланады. Теңдеулерді, сандарды, әріптерді пайдаланып өте қысқа түсініктемелер жазуға болады.
4. **Жазу парақтарының** тек алдыңғы жағын пайдаланыңыз. Жазу кезінде белгіленген кадр шеңберінен шықпаңыз.
5. Графиктер графикалық қағазы бар аумақта **Жазу парақтарында** салынуы керек. Барлық конструкциялар қарындашпен емес, қаламмен жасалады! Егер сізге графикалық қағазы бар қосымша **Жазу парақтары** қажет болса, оларды жұмыс парағының соңында табуға болады.
6. Әрбір пайдаланылған **Жазу парақтарында**, бұл үшін берілген бағандарда сіз еліңізді (**Country**), кодыңызды (**Student Code**), тапсырманың реттік нөмірін (**Question Number**), әрбір парақтың ағымдағы нөмірін (**Page Number**) көрсетуіңіз керек және барлық есептерді шешуде қолданылатын парақтардың жалпы саны (**Total Number of Pages**). Жауабыңызға кейбір қолданылған Жазу парақтарын қосуды қаламасаңыз, оларды бүкіл парақтың үстінен үлкен крестпен сызып тастаңыз және оларды парақтардың жалпы санына қоспаңыз.

Фурье спектрометрі¹ Кіріспе

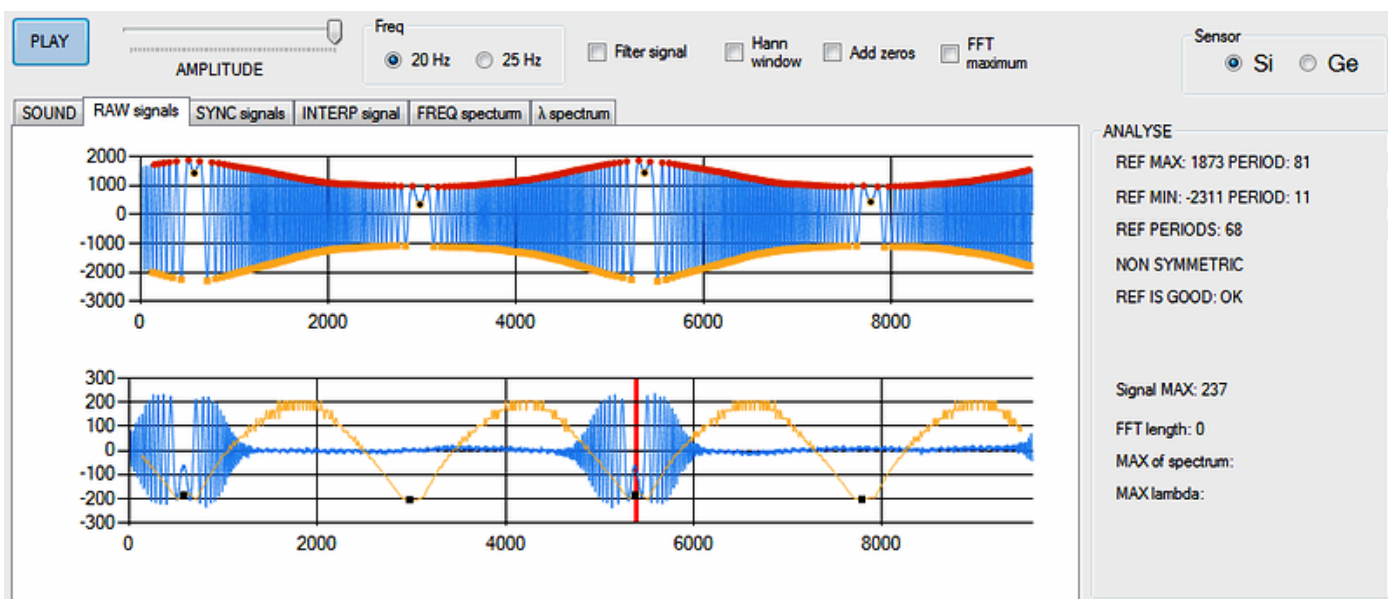
Фурье спектрометрінің негізгі элементі Майкельсон интерферометрі болып табылады.

Бізге белгілі бір толқын ұзындығы бар когерентті сәулелену көзі бар делік. Қабылдағышқа келген екі сәуленің жолындағы айырмашылық толқын ұзындығының жартысына еселі болғанда, яғни сәулелер антифазада келген кезде, анықталған сәулеленудің қарқындылығы нөлге жақын болады. Интерферометрдің айналарының бірін жылжитқанда сәулелер жолындағы айырмашылық өзгереді, сондықтан қабылдағыш жазып алған жарық қарқындылығы да өзгереді. Жол айырымы толқын ұзындығына еселік болғанда қарқындылық максималды болатыны белгілі.

Егер интерферометрдің айналарының бірі тұрақты жылдамдықпен қозғалса, онда қабылдағыштың шығысында синусоидалы сигнал байқалады. Синусоидтың амплитудасы жарықтың қарқындылығына пропорционал, ал оның периоды толқын ұзындығына байланысты. Суретте Майкельсон интерферометрінің диаграммасы көрсетілген. 1 жарық көзінен жарық ағыны линзалар арқылы параллель сәулелер шоғына айналады және сәуле бөлгішке 2 бағытталады. Жарықтың бір бөлігі (интенсивтілігі бойынша жартысы) пластинка арқылы өтіп, қозғалмайтын айнаға 3 түсіп, одан толығымен шағылысып, қайтадан пластинкаға 2 түседі, одан шағылысып, фотоқабылдағыш 5 арқылы экранға түседі. Көзден шыққан жарық ағынының екінші жартысы сәулені бөлетін пластинадан 2 шағылысады және жылжымалы айнаға 4 түседі, одан шағылысады, пластина 2 арқылы өтеді, сонымен қатар фотоқабылдағышпен 5 экранға түседі. Осылайша, 3 және 4 айналардан шағылған екі когерентті толқын экранға түседі. Бұл толқындар бір-біріне кедергі жасайды, ал қабылдағыш пайда болған жарық интенсивтілігін уақыт функциясы ретінде экранға тіркейді. Бұл функция одан әрі өңдеу үшін компьютердің жадына жазылады.



Көрнекілік үшін біз көрсетілген мақаладан тіркелген сигналдың фотосуретін ұсынамыз.



Енді айна 4 біркелкі емес қозғалады және/немесе жарық көзі монохроматикалық емес, яғни оның бірнеше толқын ұзындығы бар екенін елестетіп көрейік. Осылайша, нәтижесінде біз синусоидалы сигналға қарағанда күрделірек сигналға ие боламыз. Бұл сигналды сәйкес

¹ Берілген тапсырма мына мақаланың негізінде құрастырылған «Өзіміз жасаған Фурье-спектрометр» (<https://habr.com/ru/post/253947/>).

математикалық өңдеу арқылы айна 4 қозғалыс заңын немесе жарық көзінің сәулелену спектрін, яғни әртүрлі толқын ұзындығындағы сәулеленудің қарқындылығын алуға болады.

Тапсырмаларды орындау кезінде жеңілдететін ережелер мен белгілерді пайдаланыңыз:

- 1) фотоқабылдағыш тіркеп алған кернеу $U(t)$ жарық интенсивтілігіне пропорционал, фотоқабылдағышдың сезімталдығы жарықтың толқын ұзындығына тәуелді емес; электрондық схеманы қолдану арқылы сигналдың тұрақты құрамдас бөлігі кесіледі, сондықтан графиктерде тек айнымалы компонент көрсетіледі;
- 2) жылжымалы айна гармоникалық заң $x(t)$ бойынша жиілігі 20 Гц және тұрақты амплитудасы бойынша тербеледі; $x = 0$ нүктесінде кедергі жасайтын толқындардың жол айырымы нөлге тең деп санауға болады;
- 3) қабылдағышқа кедергі жасайтын толқындардың интенсивтілігі тең;
- 4) сигналды тіркеудің басталуы жылжымалы айнаның қозғалысымен келісіледі және әрқашан айнаның сол қалпында басталады;
- 5) сигналды тіркеу уақыттың тең қашықтықтағы моментінде жүзеге асырылады және жад ұяшықтарына жазылады, олар әрі қарай бүтін t мәндерімен нөмірленеді. Шын мәнінде, t - салыстырмалы бірліктерде тіркеу уақыты.
- 6) барлық суреттерде жазылған $U(t)$ кернеуінің t жады ұяшығының нөміріне тәуелділік графиктері көрсетілген. Жұмысты жеңілдету үшін әрбір диаграммаға тіркелген t_m сигналының экстремумдарының (максимум және минимум) орындары көрсетілген кесте қоса беріледі, бұл экстремумдар m әрпімен нөмірленеді.

Назар аударыңыз! *Жазу парақтарының* бөлек парақтарында кернеудің фотодетекторға уақыт бойынша тәуелділігінің тіркелген сигналдары берілген, оларды өңдеу керек. Барлық сигналдардың бір бөлігі ғана берілгенін ескеріңіз. Бұл тапсырманы орындау кезінде барлық берілген сандық мәліметтерді пайдаланудың қажеті жоқ. Қажетті мәндерді есептеу үшін қажет деп санайтындарды ғана пайдаланыңыз. Графикті құру кезінде деректердің ақылға қонымды көлемін пайдаланыңыз (10-15 ұпай), бірақ есептеулердің дәлдігі пайдаланылған деректер санының ұлғаюымен өсетінін есте сақтаңыз. Шешімде қандай деректерді пайдаланатыныңызды көрсетіңіз және есептеулер үшін қолданылатын формулаларды қосыңыз. Есептеулер үшін **Жазу парақтарындағы** дайындалған кестелерді пайдалану керек. Графиктерді құру үшін сол **Жазу парақтарында** берілген пішіндерді пайдаланыңыз. Тек жазу парақтары бағаланатынын ескеріңіз. Жазба жобалары үшін ақ парақтарды пайдалануға болады, бірақ олар бағаланбайды!

Тапсырмалар

1. Теориялық бөлім

Интерферометр толқын ұзындығы λ монохроматикалық сәулеленумен жарықтандырылады

1.1 Интерференциялық толқындардың әрқайсысының I_0 интенсивтілігін, $\Delta\varphi$ толқындар арасындағы фазалық ығысуын белгілейік. Пайда болған толқынның I интенсивтілігінің формуласын жазыңыз.

1.2 Жылжымалы x айнасының орнына байланысты $I(x)$ қабылдағыштағы толқынның қарқындылығының формуласын жазыңыз.

1.3 Айна координатасының x_m қандай мәндерінде экрандағы жарық интенсивтілігі максималды болатынын және қай кезде минималды болатынын көрсететін формулаларды жазыңыз.

1.4 Экрандағы жарық интенсивтілігі шектен жоғары болатын x_m айнасының координатасын анықтайтын жалпы формуланы жазыңыз.

2. Белгілі толқын ұзындығының монохроматикалық сәулеленуі – аспапты калибрлеу

1-суретте интерферометр толқын ұзындығы $\lambda_0 = 0,640$ монохроматикалық сәулеленумен жарықтандырылғанда жарық қарқындылығының уақытқа тәуелділігі көрсетілген. 1-кестеде жарық қарқындылығы шектен тыс (максимум және минимум) болатын t_m уақыттары, сондай-ақ осы уақыттағы U_m сигналының мәндері көрсетілген.

2.1 Осы құрылғының пайдаланылған уақыт шкаласы $\Delta t = 1$ бөлімінің мәнін миллисекундпен анықтаңыз.

Болашақта барлық есептеулер аспаптық шкаланың ерікті бірліктерімен жүргізіледі.

2.2 Берілген эксперименттік мәліметтер негізінде айна қозғалысын функция арқылы сипаттауға болатынын көрсетіңіз

$$x(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - t_0)\right) \quad (1)$$

Осы функцияның параметрлерінің мәндерін анықтаңыз: шкаланың бөліну бағасының бірлігіндегі T периоды; тербеліс амплитудасы A микрометрде; $x = 0$ нүктесіндегі t_0 уақыты. Айна тербелістерін сипаттау үшін осы формуланың қолданылуын дәлелдей отырып, (1) тәуелділіктің сызықтық графигін құрыңыз. ΔA тербеліс амплитудасын анықтау қателігін бағалаңыз.

Параметрлердің табылған мәндері бар функция (1) тапсырманың келесі бөліктерін орындау кезінде қолданылуы керек.

3. Толқын ұзындығы белгісіз монохроматикалық сәулелену

Интерферометр белгісіз толқын ұзындығы бар монохроматикалық сәулеленумен жарықтандырылады, оны анықтау қажет.

Бұл жағдайда жарық қарқындылығының уақытқа тәуелділігі 2-суретте көрсетілген. 2-кестеде осы функцияның экстремумдарының координаталарының мәндері көрсетілген.

3.1 Интенсивтілігі шектен тыс болатын айна x_m координаталарының m экстремумының санына тәуелділігінің графигін тұрғызыңыз.

3.2 Құрылған графикті пайдаланып, бастапқы жарықтың λ толқын ұзындығының мәнін максималды дәлдікпен анықтаңыз. Табылған мәнің $\Delta\lambda$ қатесін бағалаңыз.

4. Екі монохроматикалық толқындар

Интерферометр екі монохроматикалық толқыны бар сәулеленумен жарықтандырылады. Олардың біреуінің толқын ұзындығы $\lambda_1 = 0,640$, ал екіншісінің толқын ұзындығы λ_2 белгісіз.

3-суретте экрандағы жарық қарқындылығының уақытқа тәуелділігі көрсетілген. 3-кестеде қысқартылған функцияның экстремумдарының мәндері көрсетілген.

4.1 Берілген мәліметтерді пайдалана отырып, екінші спектрлік компоненттің λ_2 толқын ұзындығын максималды дәлдікпен анықтаңыз. $\Delta\lambda_2$ толқын ұзындығының табылған мәнінің қателігін бағалаңыз.

4.2 Екінші және бірінші I_2 / I_1 толқынының қарқындылықтарының қатынасын анықтаңыз.