

Esperimento di Young sulla doppia fenditura con la luce solare e considerazioni sulla riflessione del pattern di interferenza

Young double slit experiment with sunlight and considerations on the reflection of interference pattern

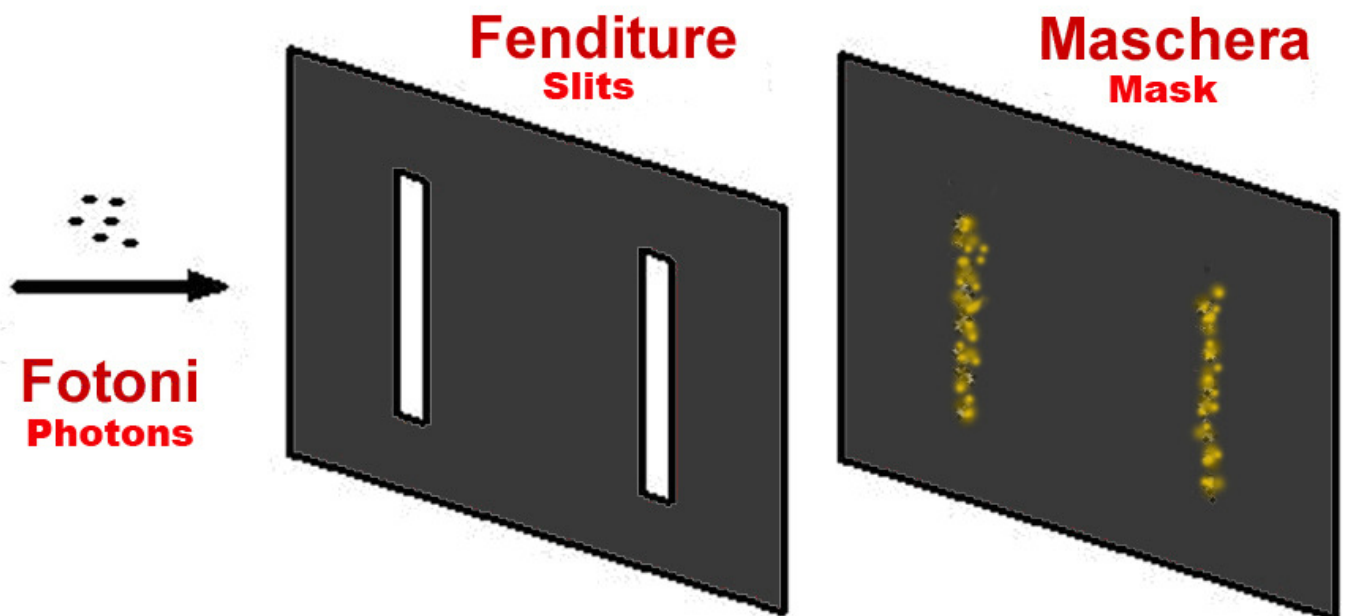
Noi appassionati di spettroscopia siamo ormai abituati a convivere con due fenomeni fondamentali della luce : l'interferenza e la diffrazione, entrambi spiegabili soltanto considerando la natura ondulatoria della luce e dei fotoni. Ma la discussione sulla natura della luce viene da molto lontano, e precisamente dalla fine del 17° secolo, allorché lo scienziato olandese C. Huygens propugnò la teoria ondulatoria , in opposizione a quella particellare, fatta risalire a Newton, secondo la quale la luce sarebbe stata composta da particelle in moto che obbedirebbero alle leggi della meccanica. Molto tempo dopo, fu lo scienziato inglese Thomas Young a dimostrare in modo inconfutabile la natura ondulatoria della luce con un esperimento che ha fatto storia. Tale esperimento è geniale perché assolutamente semplice ed alla portata (oggi) di tutti coloro che vogliano effettuarlo: il passaggio della luce di una sorgente che la emette raggi luminosi della stessa frequenza ed in fase tra loro attraverso un interferometro del tipo più semplice che possa esistere: una fenditura seguita da due fenditure di piccola apertura e molto ravvicinate ($1/4$ - $1/5$ mm) .L'esperimento in questione fu successivamente ripetuto dal fisico francese Augustin J. Fresnel che fece l'analisi matematica e l'interpretazione dei risultati dell'esperimento di Young, oltre a ripeterlo per proprio conto. Sembrava allora certo che la luce ed i fotoni avessero natura ondulatoria, ma altri fenomeni, come l'effetto fotoelettrico sembravano dare per certo l'opposto, ovvero la natura corpuscolare dei fotoni e delle altre particelle. Il dualismo onda - particella e la sovrapposizione di stati ha permeato e caratterizzato da allora la fisica moderna, ma questa è un'altra storia. Tornando all'esperimento di Young, la logica di questo era estremamente semplice:

Colpendo una lastrina con due fenditure sottili con i fotoni di un raggio luminoso monocromatico e coerente , ci aspetteremmo di vedere in uno schermo posteriore in corrispondenza delle due aperture i fotoni stessi raggrupparsi in due strisce luminose: l'aspetto corpuscolare sarebbe confermato.

We amateur spectroscopist are now accustomed to living with two fundamental phenomena of light: interference and diffraction, both of which can only be explained by the wave nature of light and photons. But the discussion on the nature of light

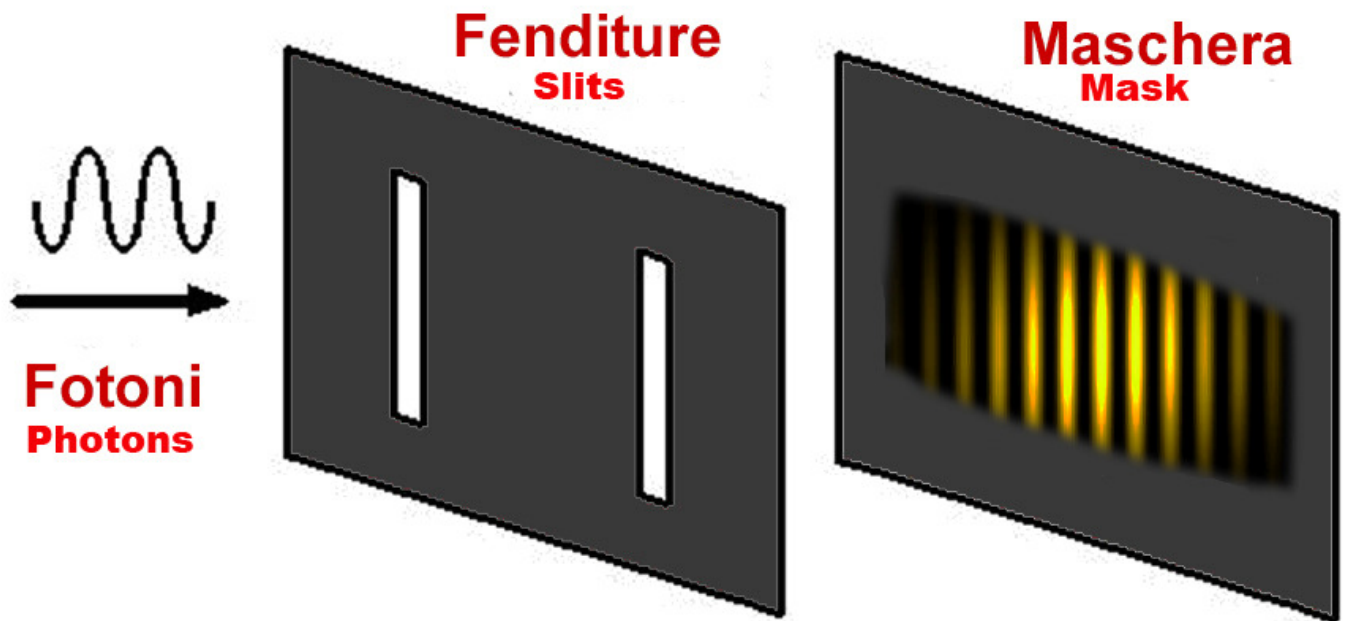
comes from far away, and precisely From the end of the 17th century, when Dutch scientist C. Huygens advocated the wave theory, as opposed to the particle one, which was traced back to Newton, according to which light would be composed of particles in motion that would obey the laws of mechanics. Later on, was the English scientist Thomas Young to unmistakably demonstrate the wave nature of light with an experiment that has made history. This experiment is brilliant because it is absolutely simple and the reach (today) of all those who want to do it: the passage of Light of a source that emits luminous beams of the same frequency and in phase between them through an interferometer of the simplest type that may exist: a slit followed by two slits of small aperture and very close ($1/4 - 1/5$ mm) to each other. The experiment in question was repeated by French physicist Augustine J. Fresnel He did the math analysis and the interpretation of Young's experiment results, as well as repeating it for himself. It seemed then that the light and the photons had an wave nature, but other phenomena such as the photoelectric effect seemed to give the opposite, or the corpusculous nature of the photons and other particles. The dual wave-particle and the superimposition of states has permeated and characterized modern physics since then, but this is another story. Turning to Young's experiment, the logic of this was extremely simple:

By striking a sheet with two thin slits with the photons of a monochromatic and coherent light ray, we would expect to see in the rear screen at the two apertures the photons themselves clustered in two bright strips: the corpuscular appearance would be confirmed.



Invece nella realtà vedremo formarsi nella lastra bersaglio un alternarsi di frange chiare e scure con un massimo centrale, una figura dovuta all'interferenza dei fotoni tra di loro.

Instead, in reality, we will see in the target plate an alternation of light and dark fringes with a central maximum, a figure due to the interference of the photons between them.

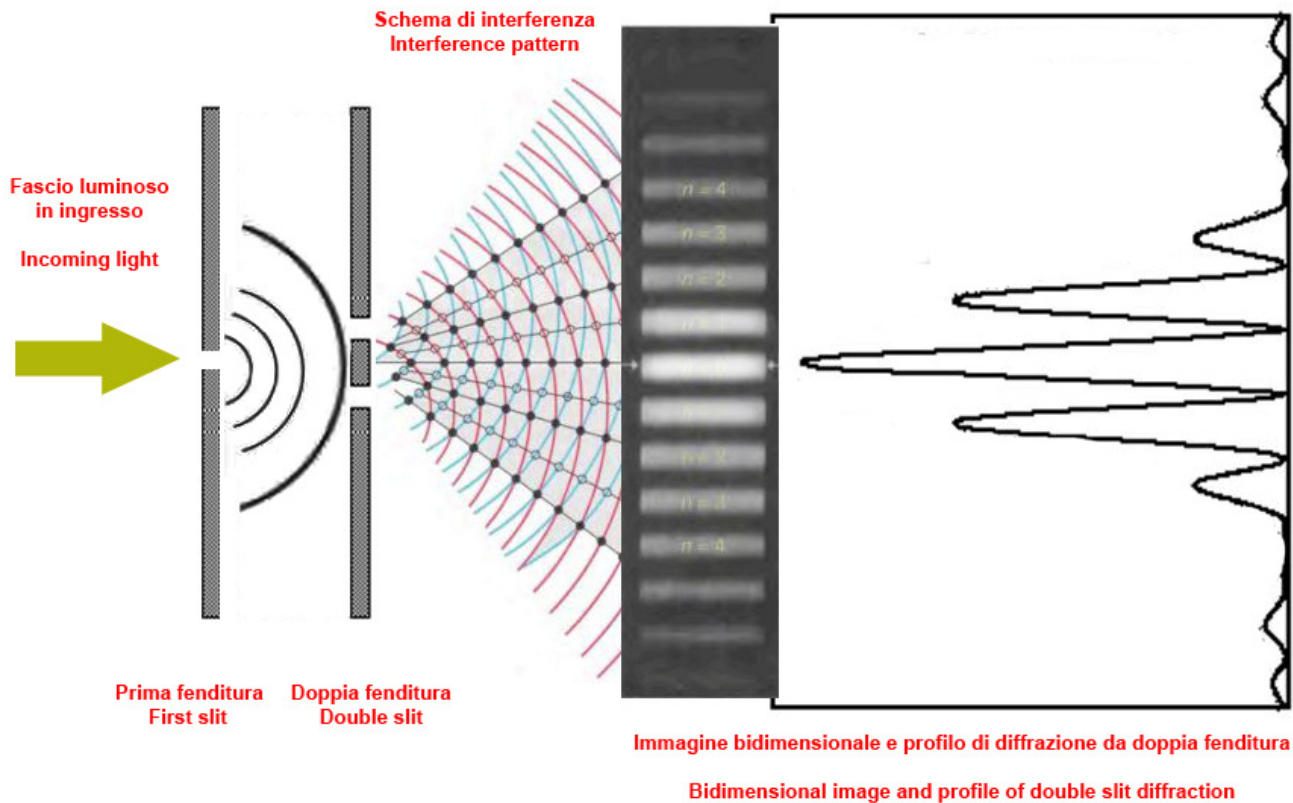


In effetti la figura di diffrazione conseguente all'interferenza delle due onde in uscita dalla doppia fenditura ha un aspetto complesso, con un massimo centrale, due massimi di minore intensità ed altri ancor meno intensi, come si osserva con maggior dettaglio nella figura che segue.

In fact, the diffraction pattern due to the interference of the two waves outgoing from the double slit has a complex appearance, with a central maximum, two lower intensity and some less intense, as can be seen in greater detail in the figure below.

Diffrazione di Young da doppia fenditura

Young diffraction by double slit



Fin qui l'esperimento originario di Thomas Young, l'interferenza tra le due onde in uscita provoca l'immagine di diffrazione che si osserva nella figura precedente, a dimostrazione della natura ondulatoria dei fotoni e della luce. Ma questo è solo un aspetto della questione, che porta molto più lontano. Oggi i ricercatori sono in grado di inviare singoli fotoni, uno alla volta ed in modo assolutamente casuale, sulle due fenditure dell'esperimento: alcuni di essi passano attraverso la prima fenditura, altri attraverso la seconda, altri ancora tra nessuna delle due. Ogni fotone è quindi indipendente, sia spazialmente che temporalmente, dagli altri. In tali condizioni, quindi, essi non hanno alcun modo di interferire tra loro, e ci si aspetterebbe di osservare, dopo un certo periodo di tempo, un'immagine simile a quella della prima delle figure soprastanti: invece, meraviglia! il risultato di questo secondo esperimento è del tutto simile a quello originario di Young, il singolo fotone, che è una particella, si comporta come un'onda: cosa inspiegabile con la meccanica classica, ma spiegata dalla meccanica quantistica. In un simile stato di cose, l'unica certezza è la partenza e l'arrivo di un fotone sullo schermo, tutto quello che succede tra la partenza e l'arrivo è regolato da leggi probabilistiche: ciascun fotone ha quindi uguale probabilità di passare tra la prima o la seconda fenditura, o (per quanto sembri strano) attraverso entrambe, interferendo con sé stesso! Mentre in meccanica classica dati due stati possibili (passaggio attraverso una

fenditura o l'altra) il verificarsi dell'uno esclude quello dell'altro, in meccanica quantistica si può avere anche uno stato che sia una combinazione lineare degli altri due (nel caso il passaggio della singola particella attraverso le due fenditure) e, in generale, un sistema di "**sovrapposizione di stati**" nel quale tutti gli stati possibili coesistono (ed addirittura, come visto, possono interferire l'uno con l'altro) sino al momento in cui viene effettuata una misurazione. Nella meccanica quantistica vige quindi il principio di sovrapposizione: se un sistema può trovarsi in due o più stati distinti, o anche nella sovrapposizione lineare di questi stati. non abbiamo la possibilità di osservare fotoni od altre particelle in sovrapposizione di tutti gli stati possibili, ma solo nello stato corrispondente a quello in cui viene osservato. Per i sistemi macroscopici questo fenomeno di sovrapposizione non si è mai percepito ed è stato la causa di numerosi dibattiti oltre che fisici anche filosofici. **La funzione d'onda**, rappresentante una sovrapposizione lineare di stati di un qualche osservabile, si riduce poi collassando a uno solo di questi stati, rappresentando quindi quel senso di realtà classica cui siamo stati abituati dall'esperienze quotidiane. Sussiste inoltre l'impossibilità di determinare contemporaneamente posizione ed impulso, ovvero realtà oggettiva a queste due grandezze fisiche (Principio di indeterminazione di Heisenberg). Apparentemente il collasso è correlato alla **misura** dell'osservabile effettuata da un soggetto macroscopico quindi non è l'interazione di un fotone con un altro fotone, dell'elettrone con un altro elettrone o un quanto del campo elettromagnetico che costringe il sistema a "scegliere" il suo stato bensì è la natura macroscopica dell'apparato con cui la particella ha interagito che porta a una sola delle due o più situazioni possibili. Ecco perchè la **teoria del collasso** è strettamente correlata a quella della misura in meccanica quantistica in quanto il misuratore è supposto essere sempre macroscopico.

So far Thomas Young's original experiment, the interference between the two outgoing waves causes the diffraction image to be seen in the previous figure, demonstrating the wave's nature of the photons and light. But this is just one aspect of a matter that brings much further away.

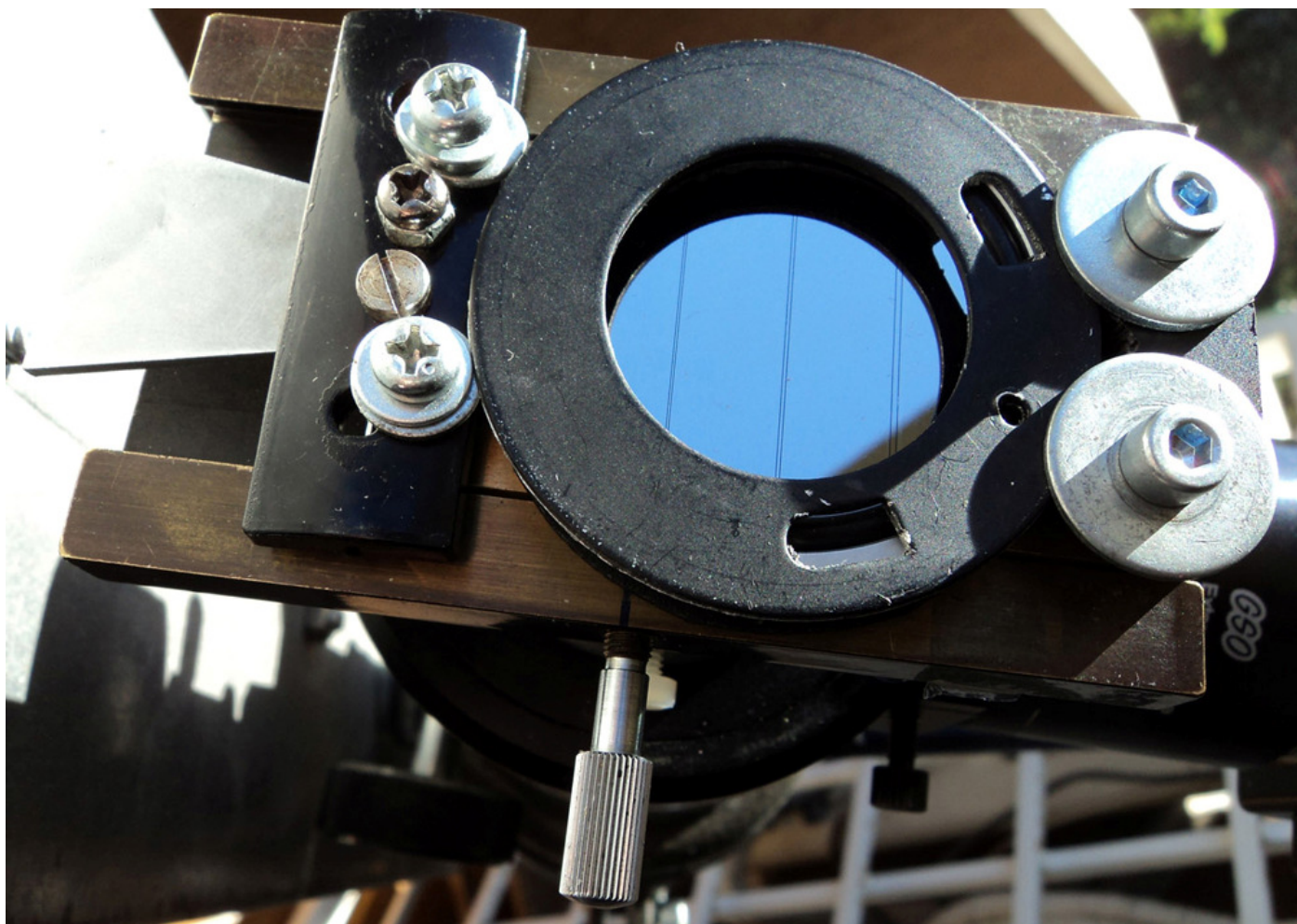
Today, researchers are able to send individual photons, one at a time and in a totally random way, on the two slits of the experiment: some of them pass through the first slit, others through the second, others still in none of the two. Each photon is therefore independent, both spatially and temporally, from the others. Under these conditions, therefore, they have no way of interfering with each other, and one would expect to observe, after a certain period of time, an image on the screen similar to that of the first of the above figures: instead, wonder! The result of this second experiment is quite similar to that of Young, the single photon, which is a particle, behaves like a wave: something unexplainable with classical mechanics, but explained by quantum mechanics. In such a state of things, the only certainty is the start and arrival of a photon on the screen, all that happens between the start and the end is governed by probabilistic laws: each photon therefore has the same chance of switching between the first or the second slit, or (as it looks strange) through both, interfering with itself! While in classical mechanical theory in two possible states (passing through a slit or another) occurrence of one excludes one from the other, quantum mechanics may also have a state that is a linear combination of the other two (in the case of The passage of the single particle through the two slits) and, in general, a "superposition of states" system in which all possible states coexist (and even as seen may interfere with each other) until the moment For which a measurement is made: we do not have the possibility to observe photons or other particles overlapping all possible states, but only in the state corresponding to the one in which it is observed. There is also the impossibility of determining simultaneously Position and impulse, that is, objective reality to these two physical quantities (Heisemberg's principle of indetermination). Thus, in quantum mechanics the **superposition principle** applies: if a system can be in two or more distinct states, or even in the linear superposition of these states. we do not have the possibility of observing photons or other superimposed particles of all possible states, but only in the state corresponding to the one in which it is observed. For macroscopic systems this phenomenon of overlap was never perceived and was the cause of numerous debates as well as physicists, even philosophical ones. The **wave function**, representing a linear superposition of states of some observable, is then reduced by collapsing to only one of these states, thus representing that sense of classical reality to which we have been accustomed by everyday experiences. There is also the impossibility of determining at the same time position and impulse, or objective reality at these two physical quantities (Heisemberg's uncertainty principle). Apparently the **collapse** is related to the measure of the observable performed by a macroscopic subject so it is not the interaction of a photon with another photon, of the electron with another electron or a quantum of the electromagnetic field that forces the system to "choose" its state but is the macroscopic nature of the apparatus with which the particle interacted leading to only one of two or more possible situations. This is why the collapse theory is closely linked to that of quantum mechanics measurement since the meter is supposed to be always macroscopic.

L'esperimento di Young su uno spettroeliografo digitale Littrow

Young experiment on a littrow digital spectroheliograph

Senza alcuna intenzione di voler disturbare la fisica quantistica, ho voluto tentare il classico esperimento di Young della doppia fenditura su uno dei miei spettrografi solari, HIRSS2, modificato in spettroeliografo digitale utilizzando appunto la luce solare, (quella usata da Young nel suo famoso esperimento) che, come si sa, è policromatica ed incoerente. Ho quindi acquistato un piastrina alluminata con sopra una serie di tre doppie fenditure di 70 micron distanziate rispettivamente 200, 300 e 500 micron, che ho inserito in un supporto a coda di rondine per centrare alternativamente la fenditura di interesse. La piastrina è in vendita da alcuni distributori di strumenti scientifici ed educativi, io l'ho comprata a 60 € da 3B Scientific; è un oggetto progettato proprio per esperimenti sulla diffrazione da doppia fenditura.

Without any intention of disturbing quantum physics, I wanted a few days ago to try Young's classic experiment of the double slit on one of my hires solar spectrographs, HIRSS2 modified in digital spectroheliograph, using sunlight, (that used by Young in its famous experiment) which, as is well known, is polychromatic and incoherent. I then bought an aluminum plate with over a series of three double slits of spaced each other of 200, 300 and 500 microns respectively, which I inserted into a swallowtail holder to alternately center the slit of interest. The plate is for sale by some distributors of scientific and educational tools, I bought mine at 60 € from 3B Scientific; Is an object designed for experiments on double slit diffraction.



Il mio interesse non era tuttavia solo quello di effettuare l'esperimento di Young tout court, (si potrebbe effettuare anche con un laser a bassa potenza) ma:

1-Di effettuarlo con la luce solare, notoriamente policromatica ed incoerente. Tale esperimento, infatti, pur essendo relativamente facile con un laser il cui fascio in uscita ha coerenza spaziale e temporale, diventa molto più complesso sulla luce solare che non presenta tali caratteristiche.

2-Di effettuarlo inviando il fascio diffratto dalla doppia fenditura ad uno spettroscopio autocollimante e per esso al reticolo, facendogli subire una seconda diffrazione, per osservare gli effetti sugli spettri dei vari ordini, il primo e lo zero particolarmente.

*My interest, however, was not just to carry out the Young experiment tout court but:
1-Do it with sunlight, notoriously polychromatic and incoherent. This experiment, while being relatively easy with a low power laser whose output beam has spatial and temporal coherence, becomes much more complex on sunlight that hasn't such features.*

2-Do it by sending the diffracted beam from the double slit to a Littrow spectroscope and for it to the grating, causing it to undergo a second diffraction, to observe the effects on the spectra of the various orders, the first particularly.

Per tale esperimento ho usato HIRSS2, uno spettroscopio-spettroeliografo digitale in configurazione Littrow con reticolo da 1800 l/mm ottica a rifrazione formata da un rifrattore acro 100/500, al quale il fascio luminoso in arrivo (luce solare) viene inviato da un altro rifrattore acro 80/400. Tale spettroscopio è peraltro un ottimo strumento, che permette di ottenere risoluzioni sino a $R = 40000$ sullo spettro solare.

For such experiment I used HIRSS2, a Littrow autocollimating spectroscope-digital spectroheliograph with a 1800 l / mm grating and using as collimator an acro 100/500 refractor, to which the incoming light beam (sunlight) is sent by another 80/400 acro refractor. This spectroscope is a great instrument, which allows to obtain resolutions up to $R = 40000$ on the solar spectrum.

Nell'immagine che segue il layout di HIRSS2, con ben visibile la slitta con le doppie fenditure e la guida fuori asse con il prisma di rinvio dello spettroscopio.

In the following image the layout of HIRSS2, with well visible the device with double slits and the off axis guide with the relay prism of the spectroscope.



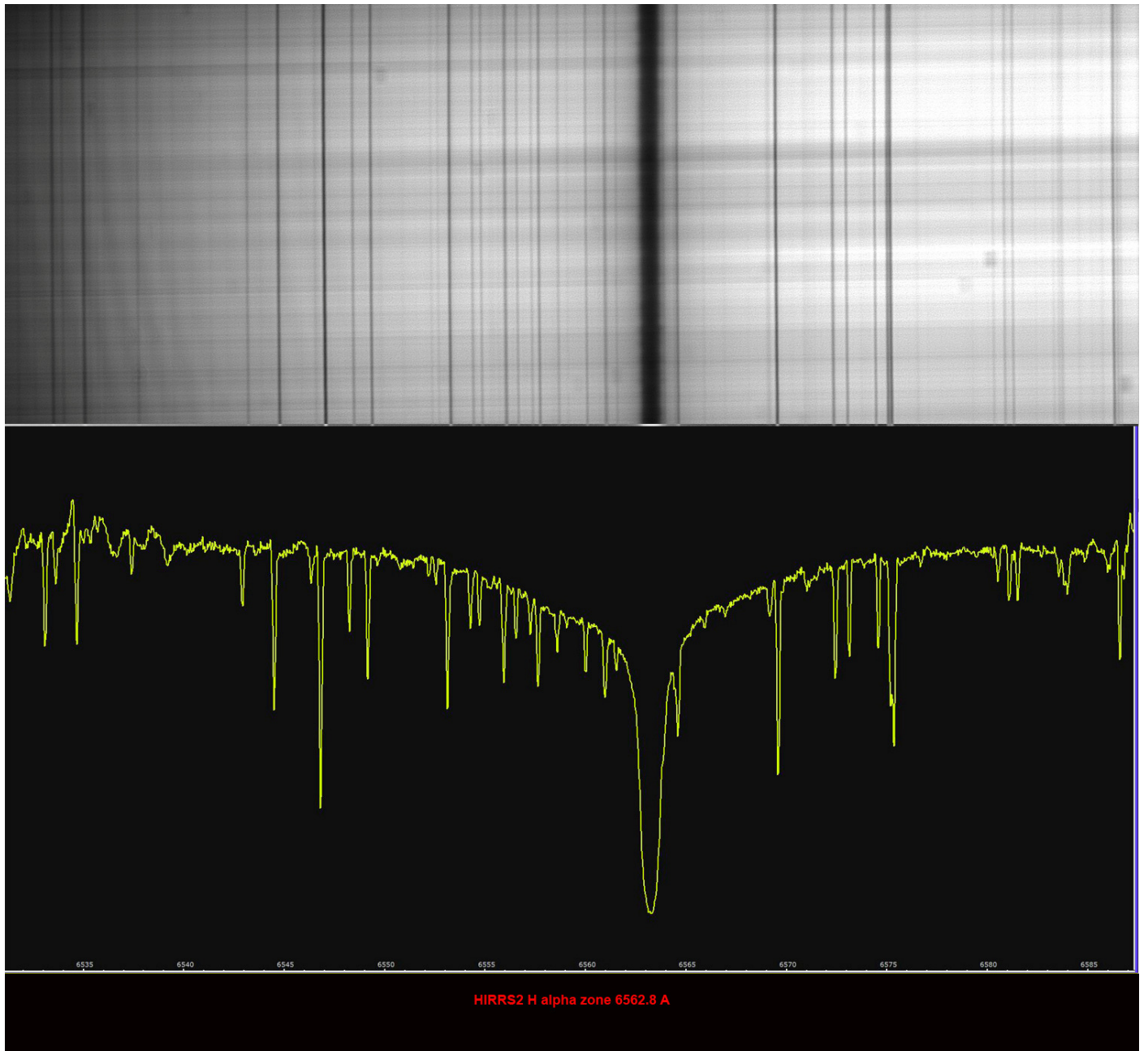
Qui di seguito il particolare della guida fuori asse usata nello spettroscopio, come deviatore del fascio ottico, il cui prisma può essere estratto e rivolto verso la direzione opposta.

Hereunder a particular feature of the off axis guide used in the spectroscope, as optical beam deviator, whose prism can be extracted and directed toward the opposite direction.



L'elevato livello di risoluzione raggiungibile da HIRSS2 sulla riga Halpha in assorbimento a $6562.8 \text{ \AA}$ dello spettro solare.

The high level of resolution of HIRSS2 in the Halpha line of solar spectrum in absorbtion at $6562.8 \text{ \AA}$.



Dopo alcune prove preliminari che mi hanno portato ad una migliore comprensione del problema, che non è banale , ho deciso di operare secondo la seguente modalità e sequenza operativa:

After some preliminary tests that led me to a better understanding of the problem, which is not trivial, I decided to operate in the following way and operational

sequence:

Prima parte: senza spettroscopio

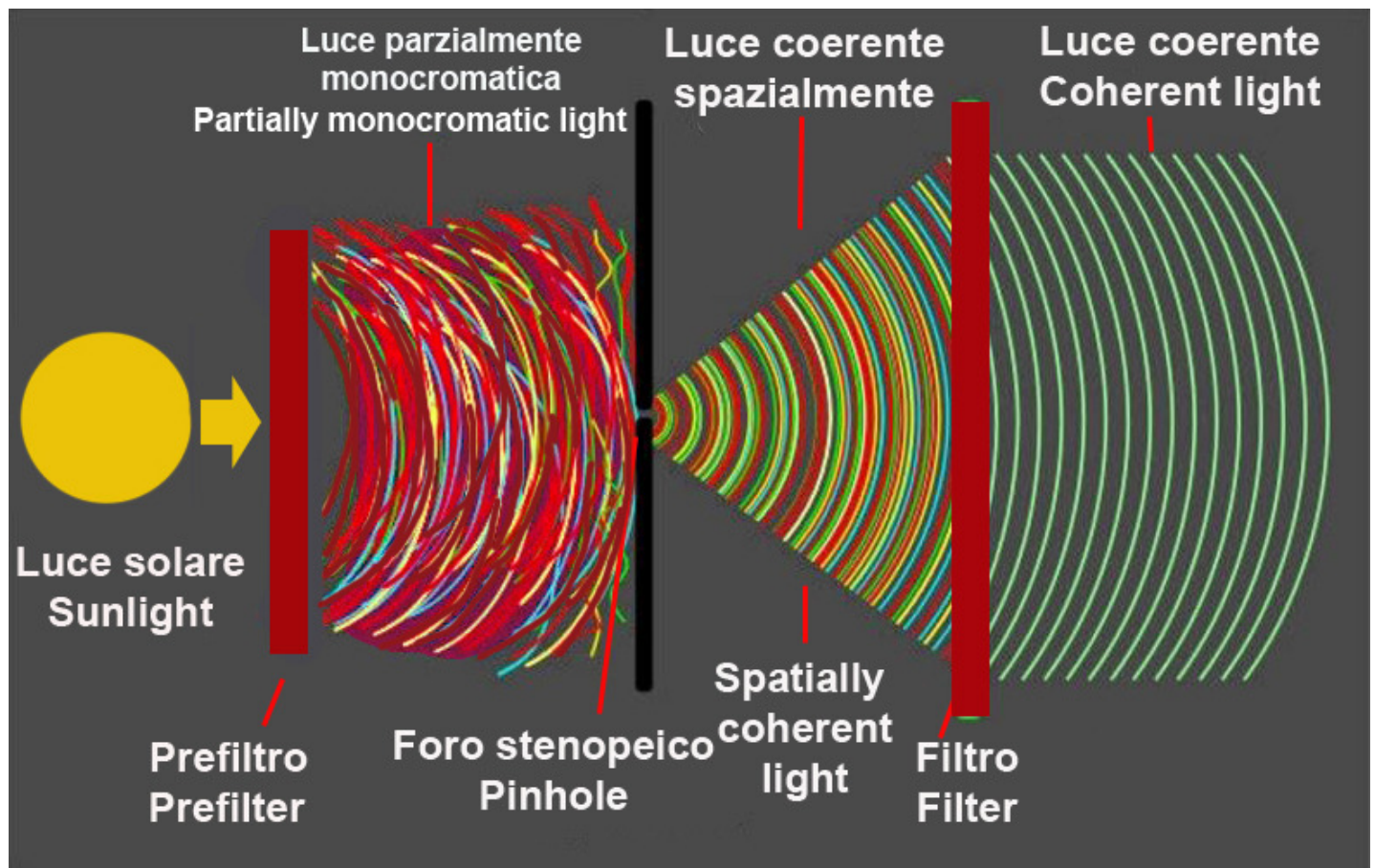
First part: no spectroscope

1- Effettuare la prima parte dell'esperimento escludendo lo spettroscopio autocollimante, ovvero semplicemente rivolgendo il prisma del deviatore (estraibile e mobile) verso il rifrattore 80/400 e la luce solare in arrivo. Per rendere la luce solare monocromatica ho usato un primo filtro Halpha da 50.8 mm da 35 nm di bandpass anteposto all'obiettivo del rifrattore ed un secondo filtro Halpha più selettivo da 10 nm all'ingresso della camera; per darle coerenza spaziale ho invece usato un foro stenopeico da 100 micron posto nel portaoculari del rifrattore, secondo lo schema e la foto che seguono. La camera usata è stata una IS DMK 41 1280 x 960 pixel da 4.5 micron, mentre la doppia fenditura usata è stata quella con la separazione minima, di 200 micron (1/5 mm) tra le aperture di 70 micron (1/14 mm) ciascuna.

1- Take the first part of the experiment by excluding the auto-collimating spectroscope, simply by turning the diverter prism (removable and mobile) towards the refractor 80/400 and the incoming sunlight. To make solar light monochromatic I used a first Halpha prefilter 50.8 mm of 35 nm of bandpass put in front of the 80/400 refractor lens and a second Halpha filter 10nm bandpass, more selective, at the camera entrance; To give i spatial coherence to the beam, I used a 100 micron pinhole in the refractor eyepiece holder, according to the diagram and the following picture. The camera used was an IS DMK 41 1280 x 960 pixels of 4.5 microns, while the double slit used was the one with the minimum separation of 200 micron (1/5mm) between the apertures of 70 microns (1/14 mm) each.

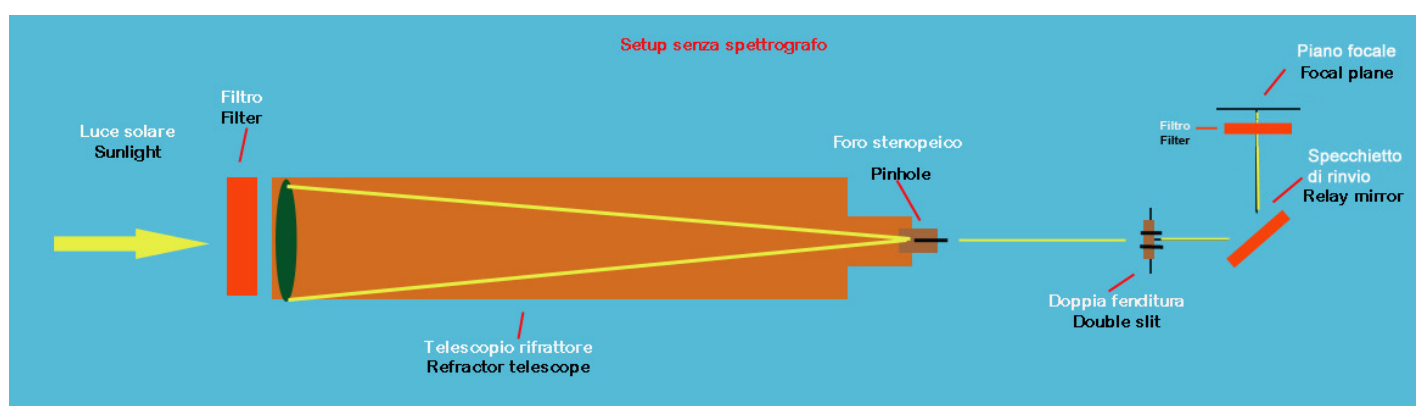
Qui di seguito lo schema del sistema usato per rendere coerente il fascio di luce solare in ingresso

Here below the layout of the system used to make the incoming sunlight beam coherent.



Lo schema della strumentazione usata ed una sua foto

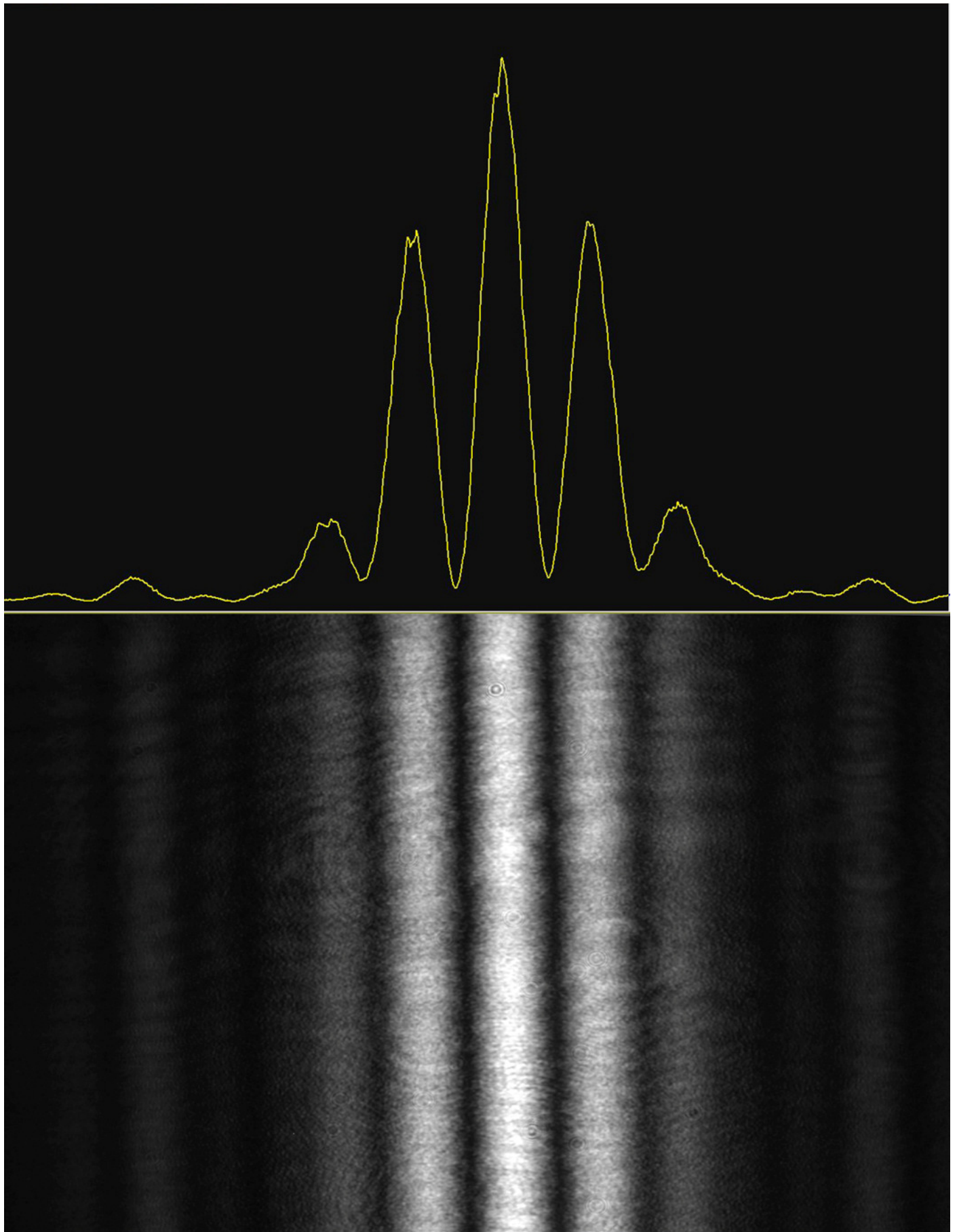
The layout of the instrumentation used and a photo





Il risultato è stato pienamente soddisfacente, oltre le mie aspettative, in quanto la camera ha restituito un'immagine del pattern di diffrazione da doppia fenditura: perfettamente uguale a quello che si può trovare sui libri o sugli articoli specialistici (il profilo è stato ricavato con VSpec).

The result fully satisfied me, beyond my expectations, for the camera gave an image of the double slit diffraction pattern almost equal to the one we can find on the books or in the articles.(the profile was obtained by VSpec).



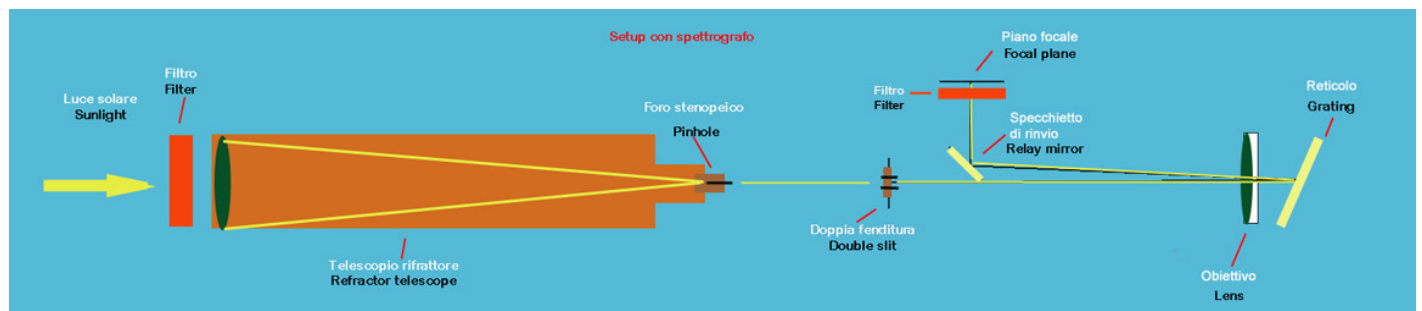
Double slit interference pattern and profile

La seconda parte:doppia diffrazione con ulteriore diffrazione per mezzo del reticolo dello spettrografo usato nell'ordine 1

The second part: double diffraction with further diffraction by means of the grating of the spectrograph used in the 1st order

La seconda parte ,quella più interessante,aveva lo scopo di far subire al fascio ottico diffratto dalla doppia fenditura una seconda diffrazione ad opera del reticolo da 1800 l/mm dello spettrografo per osservare l'immagine finale .Un esperimento semplice, ma non banale, di diffrazione multipla od in serie.Il prisma deviatore dello spettrografo era stato stavolta rivolto verso il reticolo, come nel normale layout di un autocollimante Littrow.Il secondo filtro Ha in uscita prima del foro stenopeico era stato sostituito da un filtro UV-IR cut da 50.8 mm posto davanti al fitro Ha da 35 nm per evitare qualsiasi contaminazione da radiazione UV o IR.

The second part of the experiment, the most interesting , was to make the beam diffracted by the double slit perform a second diffraction by the 1800 l / mm grating of the spectrograph to observe the final image. A simple experiment not trivial,of multiple or serial diffraction. The spectrograph divergent prism had been pointing toward the grating, as in the normal layout of a Littrow spectroscope. The second Ha filter before the pinhole was replaced by a 50.8 mm UV-IR cut filter placed in front of the 35 nm Ha filter to avoid any UV or IR radiation contamination.

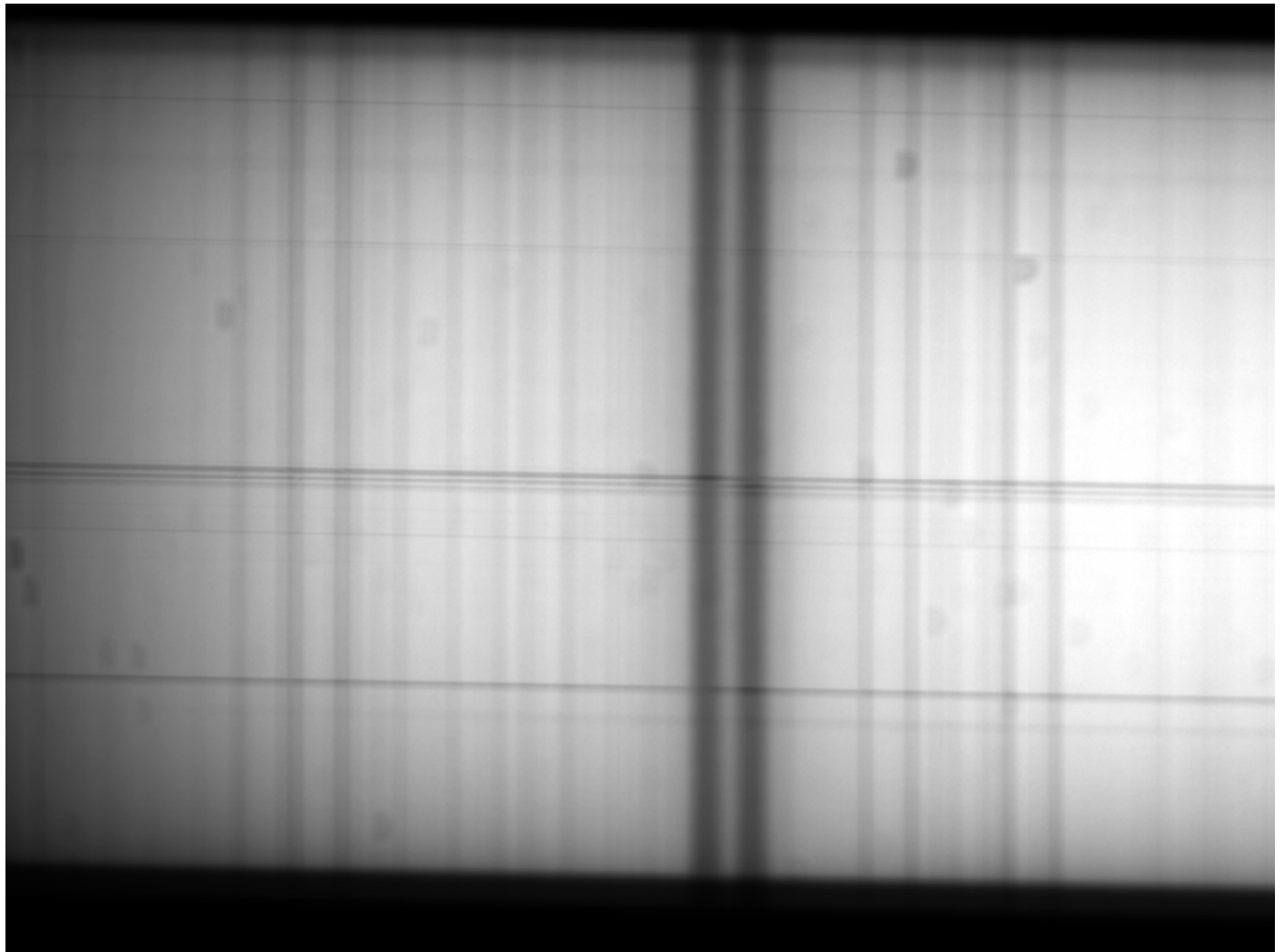


Senza l'uso del foro stenopeico in uscita del rifrattore 80/400

con il collimatore 100/500 dello spettrografo focheggiato, come normale sulla fenditura doppia, con la parte posteriore dell'obiettivo a 460 mm di distanza dalla fenditura stessa (460 e non 495-500 in quanto i punti di fuoco delle due ottiche si intersecano), e puntato sulla riga H alpha a 6562.8 A ottenevo un'immagine doppia della riga, e quindi due spettri sovrapposti , anche se distanziati tra loro in proporzione alla distanza tra le due fenditure.L'immagine spettrale era flou per la scarsa risoluzione fornita dall'apertura delle due fenditure (solo 70 micron).Il risultato si spiegava, a mio avviso, col fatto che la luce in arrivo sulla doppia fenditura era

incoerente e quindi la stessa operava come una semplice maschera. La diffrazione di Young in tal caso non aveva luogo, ed avveniva solo quella operata dal reticolo dello spettrografo.

Without the use of the pinhole in exit from the 80/400 refractor with the 100/500 collimator of the spectrograph, focused as normal, on the double slit, with the back of the lens at 460 mm distance from the slit (460 And not 495-500 as the focal points of the two optics intersect each other), and pointing to the line H alpha at 6562.8 A I obtained a double line image, and hence two overlapping spectra, although spaced apart in proportion to the distance between the two slits. The spectral image was flush due to the low resolution provided by the opening of the two slits (only 70 micron). The result was explained, in my opinion, by the spatial incoherence of the light on the double slit so the same worked as a simple mask. Young's diffraction in that case did not take place, but only that operated by the grating of the spectrograph .

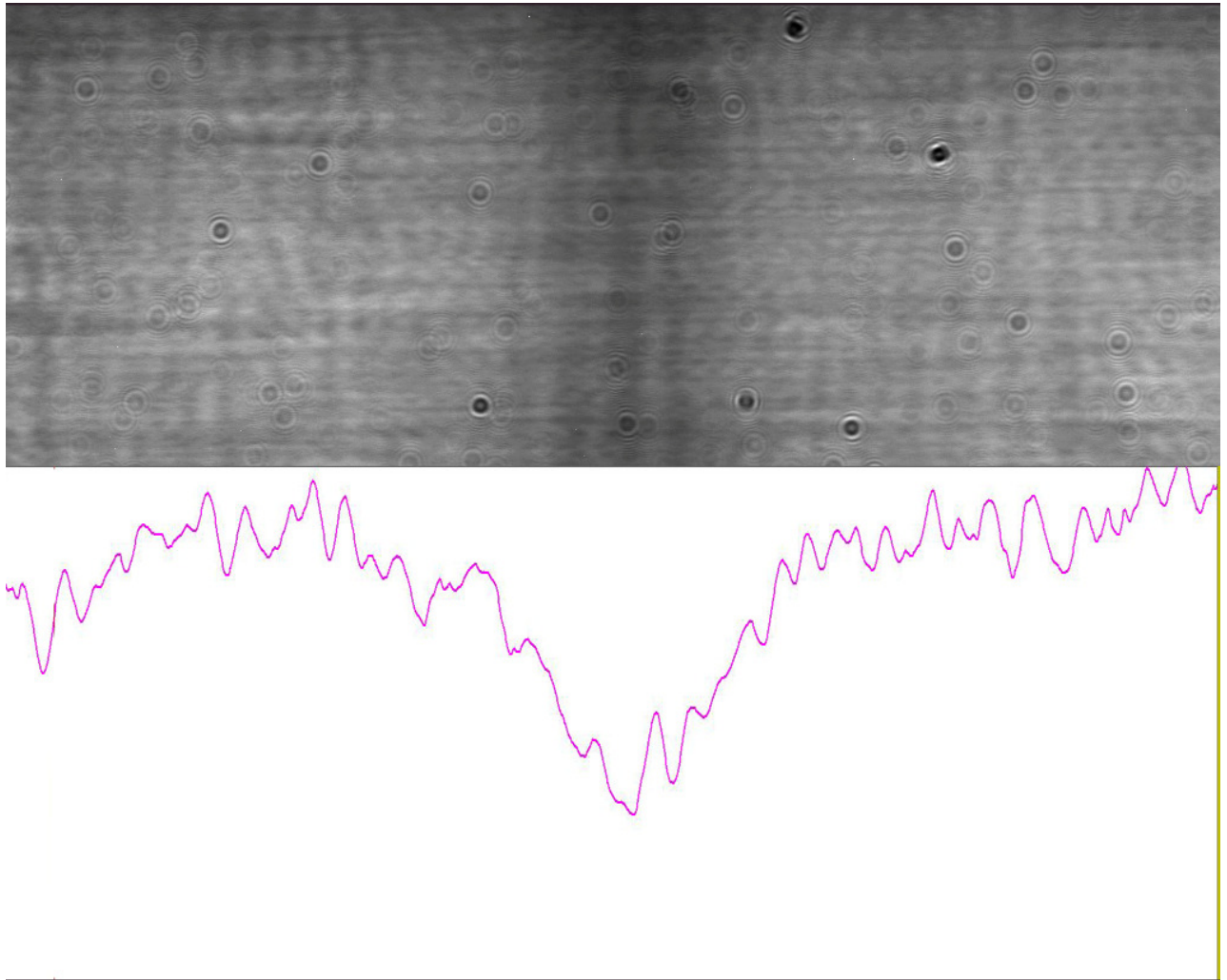


Con l'uso del foro stenopeico da 100 micron come filtro spaziale applicato al rifrattore 80/400 l'esperimento entrava nella sua parte più interessante, ma anche più complicata in quanto :

- 1- Dovevo accertarmi che effettivamente la diffrazione di Young avesse luogo anche successivamente al passaggio sul reticolo dello spettrografo, isolando questo dallo strumento, in parole povere facendolo operare solo come semplice reticolo; e per fare questo era necessario che **l'ottica dello spettroscopio non fosse a fuoco sulla doppia fenditura, ma foceggiata molto più avanti di questa**. Ho ottenuto ciò portando la fenditura stessa a 495 mm di distanza dalla lente posteriore dell'obiettivo 100/500 dello spettrografo.

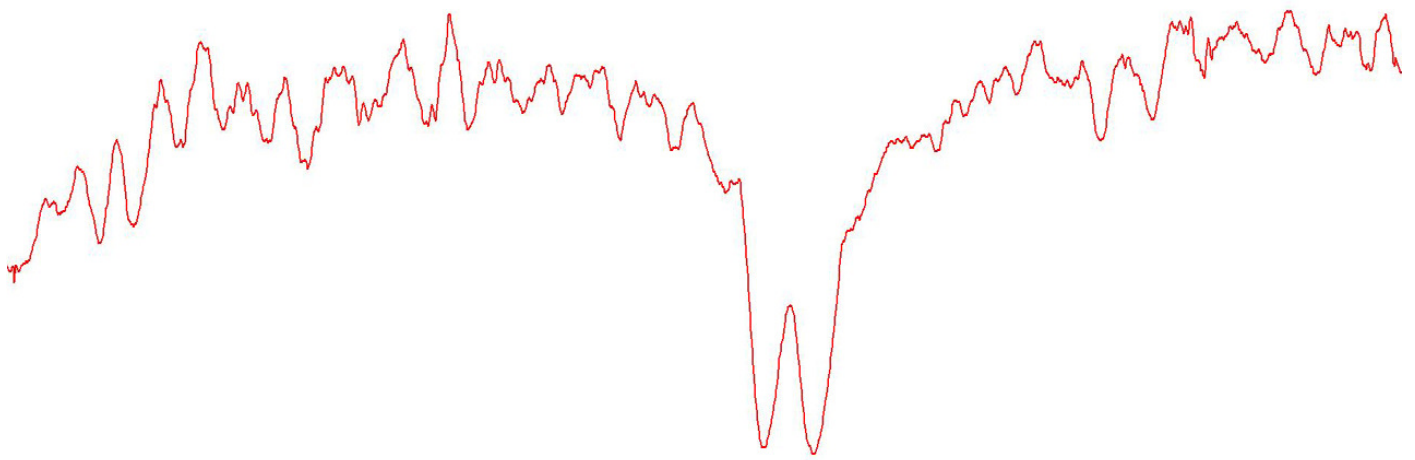
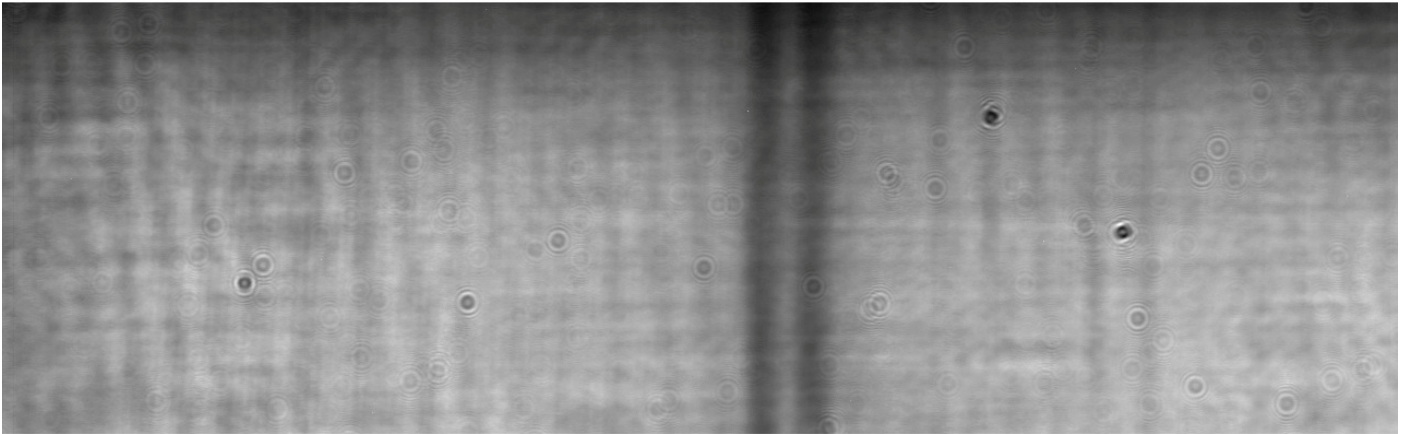
In tale configurazione l'immagine mostrava seppure in modo non chiaro, una replica del pattern di diffrazione di Young in assorbimento , nello spettro di ordine 1 del reticolo che non sembrava mostrare alcuna riga spettrale.

In such setup, the image showed, although in a not fully clear way, a Young diffraction pattern in absorbtion in the 1st order spectrum of the grating, that seemed show no spectral line.



2-Con **l'ottica dello spettroscopio foccheggiata sulla fenditura** si otteneva invece il seguente risultato:

With the spectroscope optics focused onto the slit, I obtained instead the following result:



In conclusione

considerando sempre il caso di fascio ottico reso coerente da un prefiltro H alpha di 35 Nm , un foro stenopeico di 100 micron ed un filtro da 10 nm:

1- Nel caso che il collimatore dello spettroscopio non sia a fuoco sulla doppia fenditura e quindi non faccia arrivare al reticolo un fronte d'onda piano con l'immagine della doppia fenditura stessa, ma intercetti il cono ottico del telescopio col fascio di luce coerente immediatamente dopo il foro stenopeico, allora nello spettro di ordine 1 originato dalla diffrazione del reticolo si riproduce il pattern di diffrazione di Young classico della doppia fenditura, anziché lo spettro della zona di lunghezza d'onda in esame (riga H alpha nel caso in esame, e righe vicine). Il reticolo opera la diffrazione separando gli ordini, ma non riportando in essi lo spettro della zona interessata, bensì la figura di diffrazione di Young, che si osserva in assorbimento.

2-nel caso invece che il collimatore dello spettroscopio sia a fuoco sulla doppia fenditura il pattern di diffrazione di Young da questa originato non è più riportato nello spettro di ordine 1 generato dal reticolo, dove si osserva invece uno spettro simile a quello che si ottiene in caso di luce non coerente (senza foro stenopeico e filtri), consistente in due spettri sovrapposti e sfalsati della zona spettrale sulla quale è puntato lo spettroscopio. La fenditura doppia agisce in tal caso ancora come una maschera ed il reticolo opera la diffrazione negli spettri dei vari ordini come consueto.

In conclusion

always considering the case of optical beam made coherent by a 35 Nm H alpha prefilter, a 100 micron pinhole and a 10 nm H alpha filter:

1- If the spectrograph collimator is not focused on the double slit and therefore does not make a plane wave with the image of the double slit itself reach the grating, but intercept the optical cone with the light beam Immediately after the pinhole, then in the 1st order spectrum of the grating , the classic diffraction pattern of the double slit is reproduced instead of the spectrum of the wavelength area under consideration (H alpha line in the case , and adjacent lines.) The grating seemed to operate the diffraction by separating the orders, and not bringing them into the spectrum of the selected area, but in the diffraction pattern of Young, which is observed in absorption.

2 - In the case instead of the spectrometer collimator being focused on the double slit the Young's diffraction pattern from this originated is no longer reported in the 1st order spectrum generated by the grating, where is observed a spectrum similar to that in the case of incoherent light (without pinhole and filters), consisting of two superimposed and offset spectra of the spectral zone on which the spectroscopy is aimed. The double slit acts in this case still as a mask and the grating operates in the diffraction spectra of the various orders as usual.

La terza parte: doppia diffrazione con ulteriore diffrazione per mezzo del reticolo dello spettrografo usato nell'ordine zero

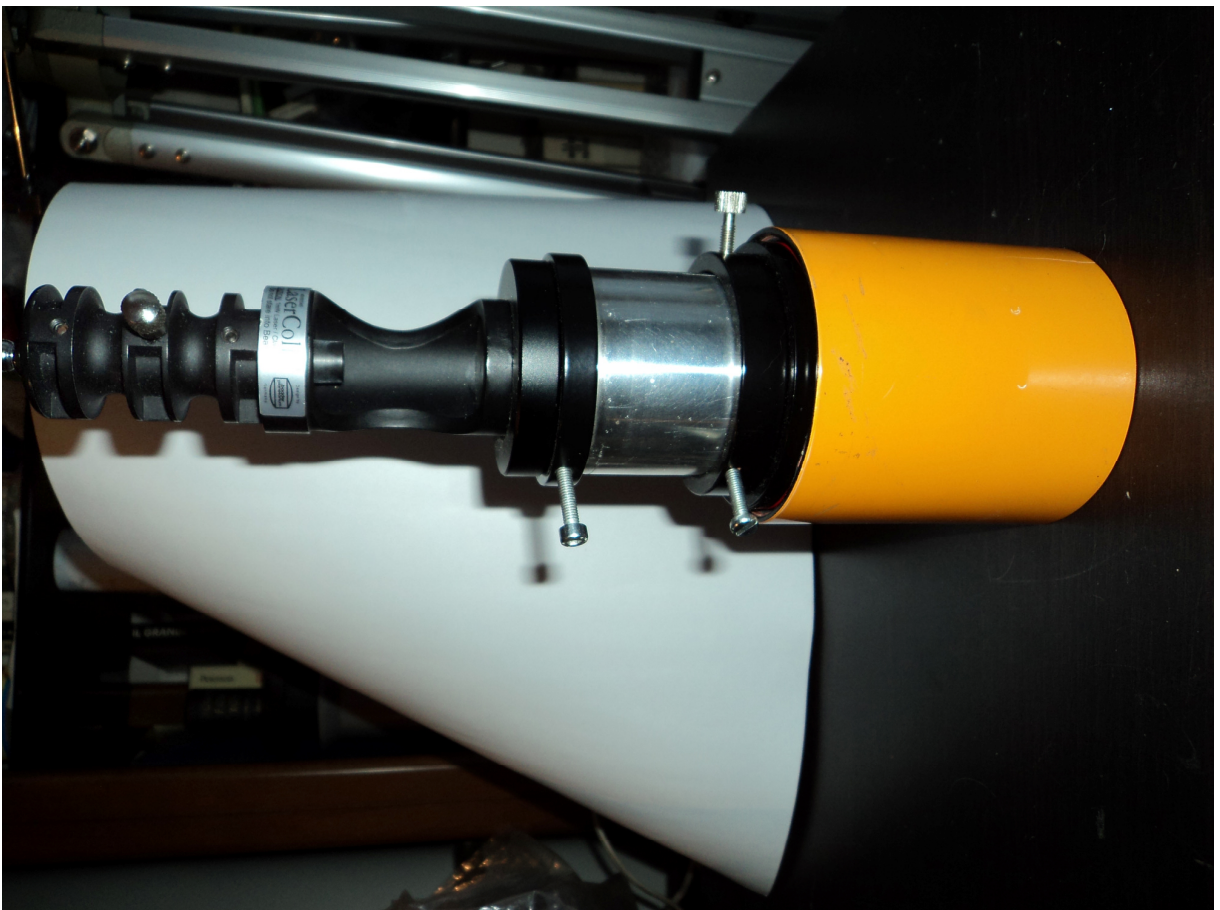
The third part: double diffraction by means of the grating of the spectroscopy used in the zero order

Le conclusioni della seconda parte dell'esperimento mi avevano lasciato perplesso, per un attimo l'immagine della doppia riga H alpha mi aveva fatto pensare ad un comportamento corpuscolare della luce, ma avevo delle perplessità, così decisi di replicare l'esperimento usando non l'ordine 1 dello spettrografo, ma l'ordine 0, nel quale in configurazione Littrow il reticolo agisce come un semplice specchio. In questo caso non ci sarebbe dovuto essere alcuna ulteriore diffrazione, bensì la sola immagine della doppia fenditura. Ho quindi ripetuto l'esperimento precedente con alcune piccole modifiche al setup: al posto del rifrattore 80/400 ho posto un piccolo rifrattore Konus 60/415, più piccolo e leggero.

Il resto del setup fu identico al primo. Il motivo principale dell'uso del nuovo rifrattore fu la necessità di controllare con esattezza il percorso della luce in uscita dal foro stenopeico e diretto verso la doppia fenditura. Ho infatti usato a tale scopo prima un oculare Cheshire e poi un collimatore laser applicato e centrato sul paraluce del rifrattore.

The conclusions of the second part of the experiment had left me perplexed, for a moment the image of the double line H alpha had made me think of a corpuscular behavior of light, but I had doubts, so I decided to replicate the experiment using instead order 1 of the spectrograph, the order 0, in which in the Littrow configuration the grating acts as a simple mirror, reflecting the image of the object. In this case there should not have been any further diffraction, but rather the image of the double slit. Then I repeated the previous experiment with a small change: instead of the 80/400 refractor, a smaller and lighter one a 60/415 refractor. The rest of the setup was identical to the first one. The main reason for using the new refractor was the need to precisely control the path of the light exiting the pinhole and directed towards the double slit. In fact, first a Cheshire eyepiece, and after a laser collimator applied and centered on the refractor hood was used for this purpose.



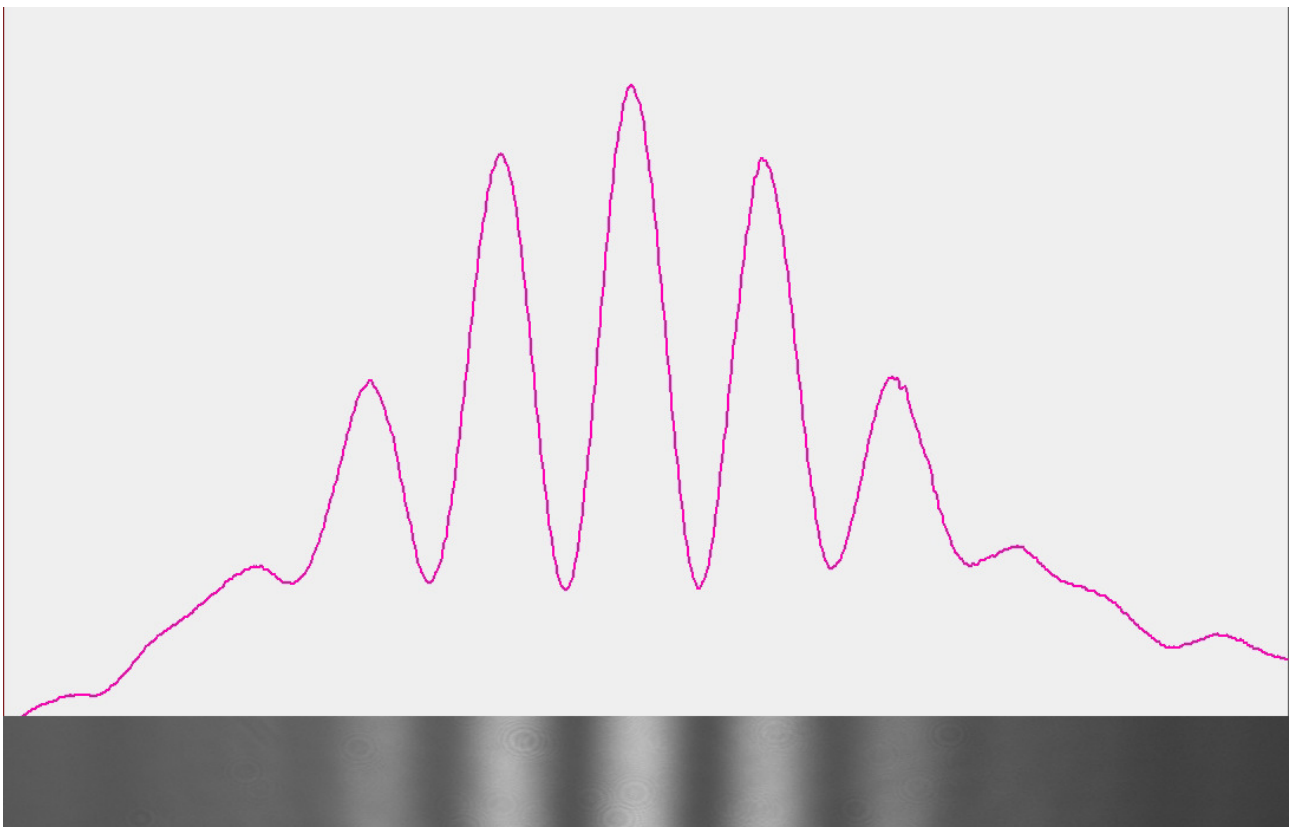


Sopra il Cheshire ed il collimatore laser Baader Lasercolli applicati al paraluce del rifrattore.

Up, the Cheshire and the Baader Lasercolli applied to the lens hood of the refractor

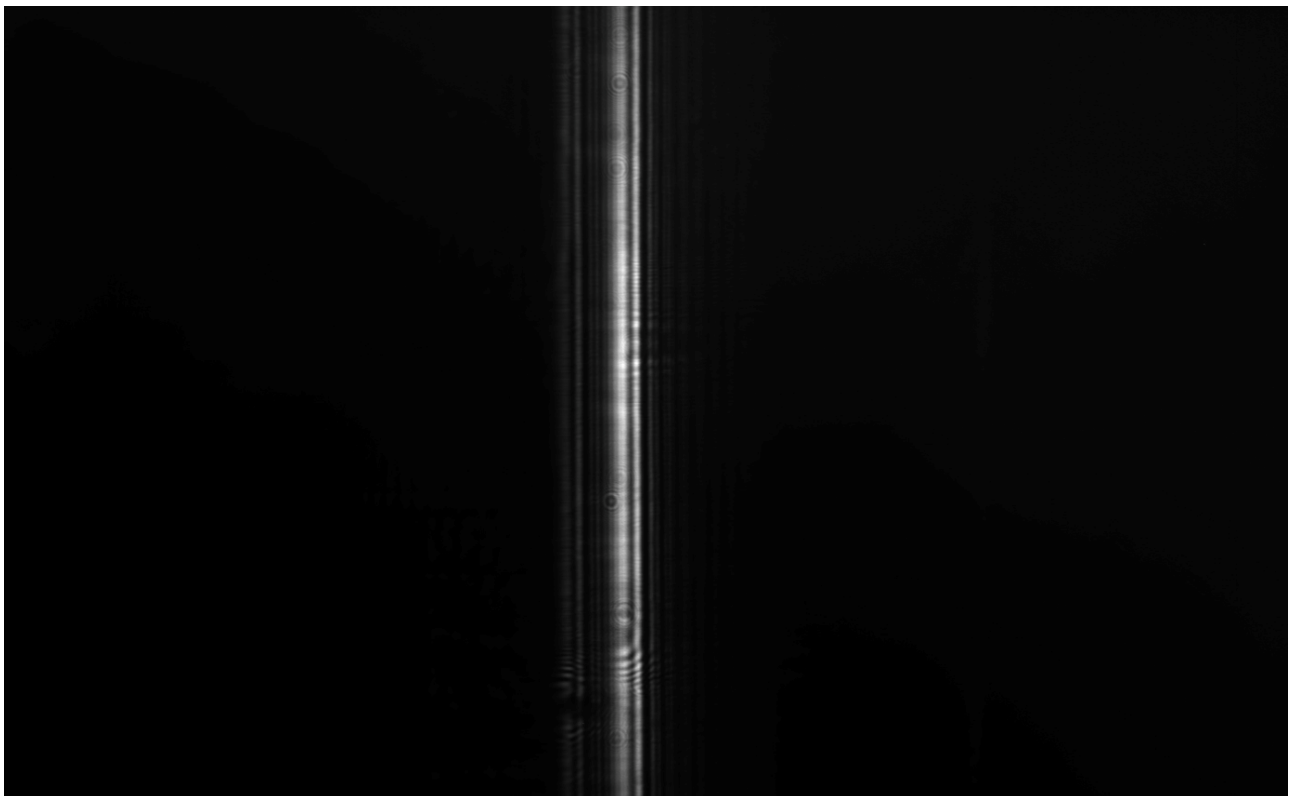
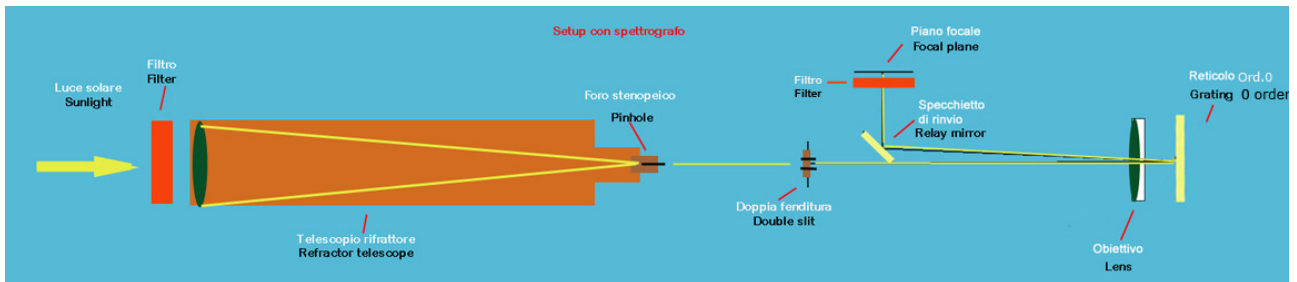
Col prisma deviatore rivolto verso la luce solare incidente, ottenevo la solita immagine di diffrazione da doppia fenditura, del tutto simile a quella della prima parte dell'esperimento riportata a pag 15.

With the deviation prism facing the incident sunlight, I obtained the usual double-slit diffraction image, very similar to that of the first part of the experiment shown on page 15.



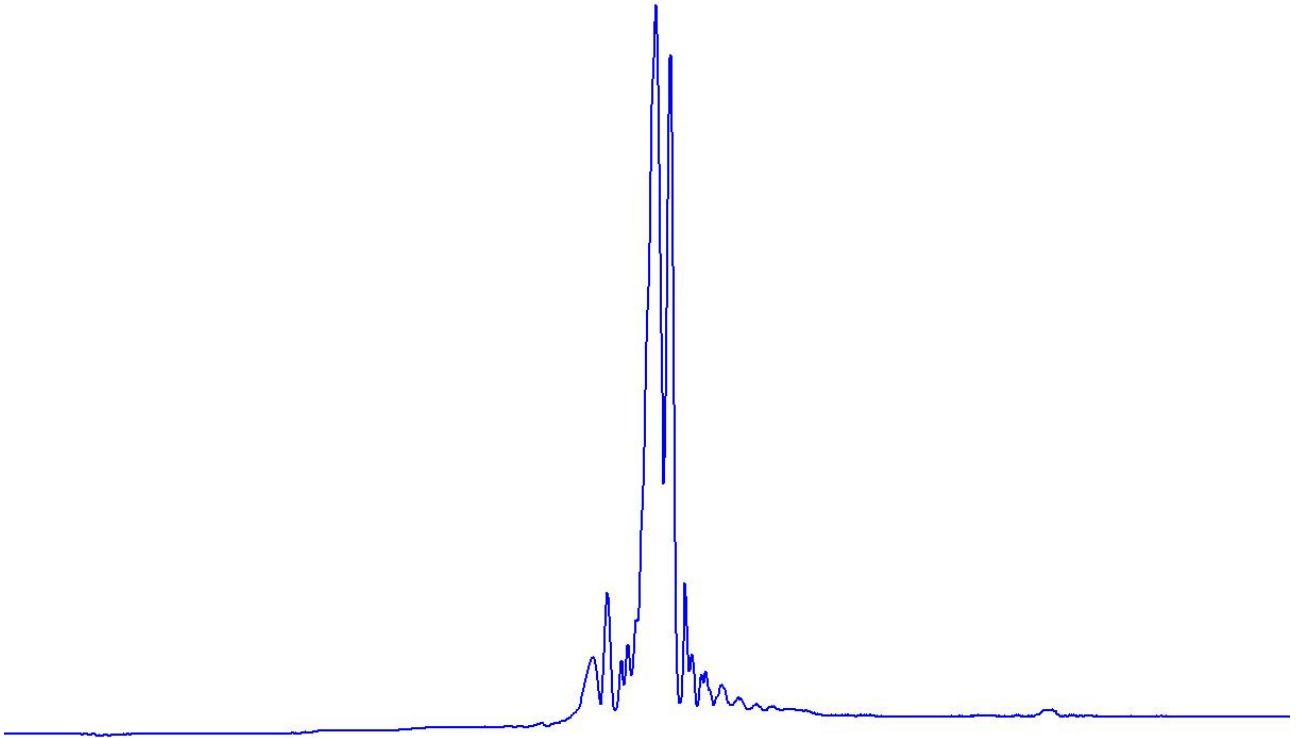
Col deviatore rivolto verso il reticolo nell'ordine zero, nel modo illustrato nella figura che segue, ottenevo invece un diverso risultato.

With the diverter prism facing the reticle in zero order, in the way shown in the figure below, I obtained a different result instead.



Un pattern di struttura simile a quella precedente, ma con due soli picchi di intensità nettamente superiori agli altri, riproducenti in sostanza il pattern della doppia fenditura in ingresso.

A pattern of structure similar to the previous one, but with only two peaks of intensity clearly superior to the others, essentially reproducing the pattern of the double slit at the entrance.



Il risultato, difficilmente definibile, (ma che era peraltro coerente con quello delle altre due parti dell'esperimento) mi lasciava perplesso, ed ho quindi pensato a:

- 1- Che l'ordine zero del reticolo non sia esattamente uguale ad uno specchio con superficie riflettente in quanto non riflette tutta la luce incidente, e non con lo stesso angolo.*
- 2- Che l'ottica dello spettroscopio deflettesse , scomponendolo, il flusso luminoso in arrivo.*
- 3- Che ci fosse una doppia riflessione da parte del reticolo, una della parte superficiale, ed una del substrato.*

Sempre più incuriosito, decisi di fare la quarta ed ultima prova, escludendo completamente lo spettroscopio e ponendo in sua vece nel percorso ottico uno specchio piano con superficie alluminata (cd. "front surface mirror").

The result, difficult to define, (but which was also consistent with that of the other two parts of the experiment) left me perplexed, and I therefore thought of:

1- That the zero order of the grating is not exactly equal to a mirror with a reflective surface as it does not reflect all the incident light, and not with the same angle.

2- That the spectroscope optics deflect the incoming luminous flux by decomposing it.

3- That there was a double reflection on the part of the lattice, one of the superficial layer, and one of the substrate.

More and more intrigued, I decided to take the fourth and final test, completely excluding the spectroscope and placing a plane mirror with an aluminized surface (so-called "front surface mirror") in the optical path instead.

La quarta parte: uno specchio alluminato al posto dello spettroscopio

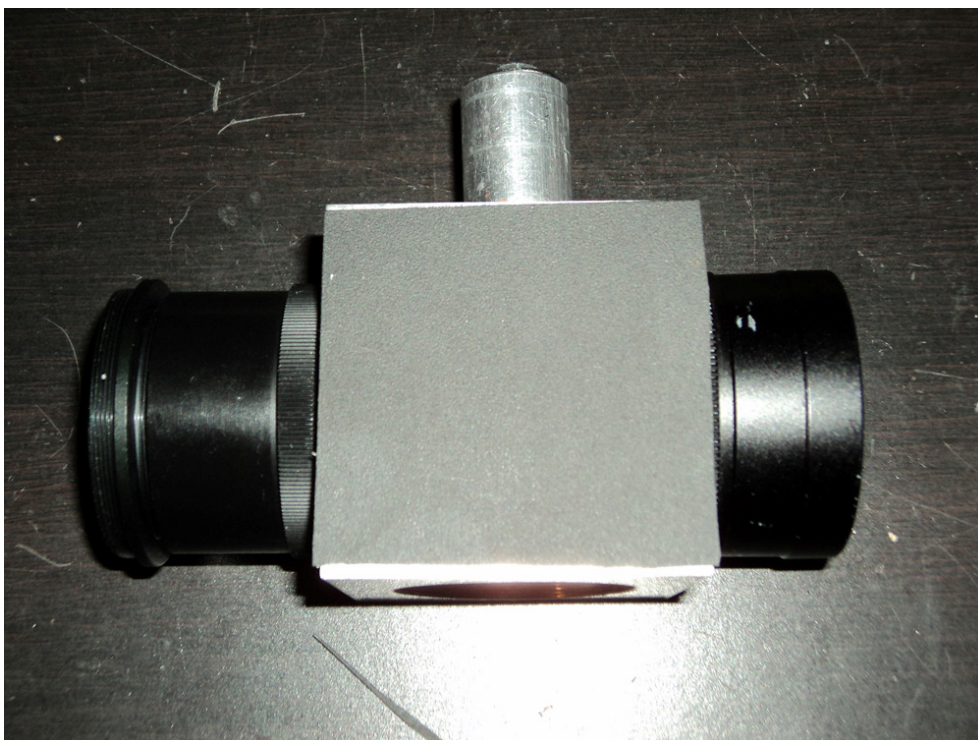
The fourth part: an aluminized mirror instead of spectroscope

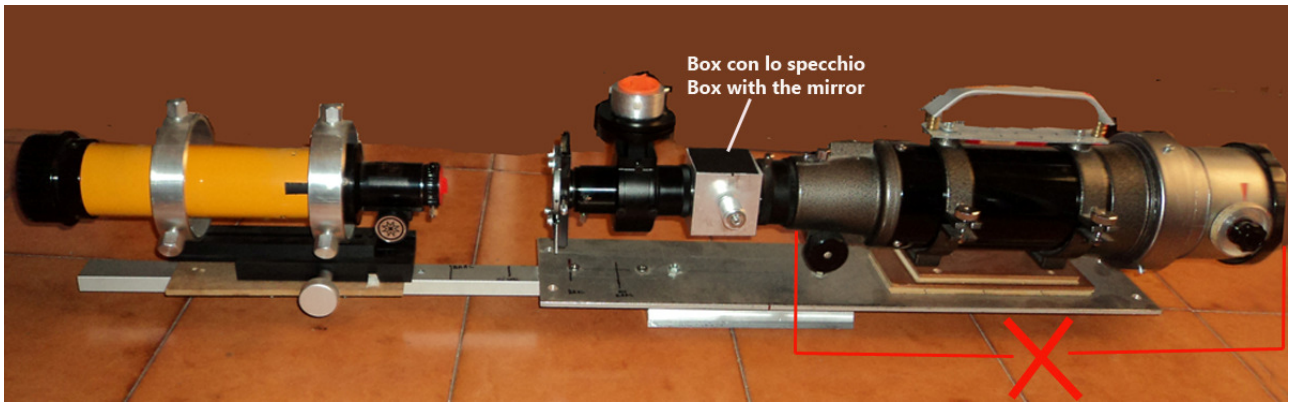
Ho allora montato in un box di alluminio uno specchio piano con superficie alluminata ricavato da un diagonale stellare da 31.8 mm, montato su di una cella con asse di rotazione in modo da renderlo basculabile. Lo stesso, per non perdere l'allineamento acquisito in precedenza, è stato applicato al porta fenditura da 50.8 dello spettroscopio, di fatto escludendo quest'ultimo dal cammino ottico. Lo specchio stesso è stato inclinato di circa 5-6° in modo da portare i raggi assiali sul prisma

I then mounted a flat mirror with an aluminised surface in an aluminum box obtained from a star diagonal of 31.8 mm, mounted on a cell with a rotation axis so as to make it tiltable. The same, so as not to lose the alignment acquired previously, it was applied to the 50.8 slit port of the spectroscope, effectively excluding the latter from the optical path. The mirror was inclined of about 5-6 ° on order to send the axial rays onto the prism.



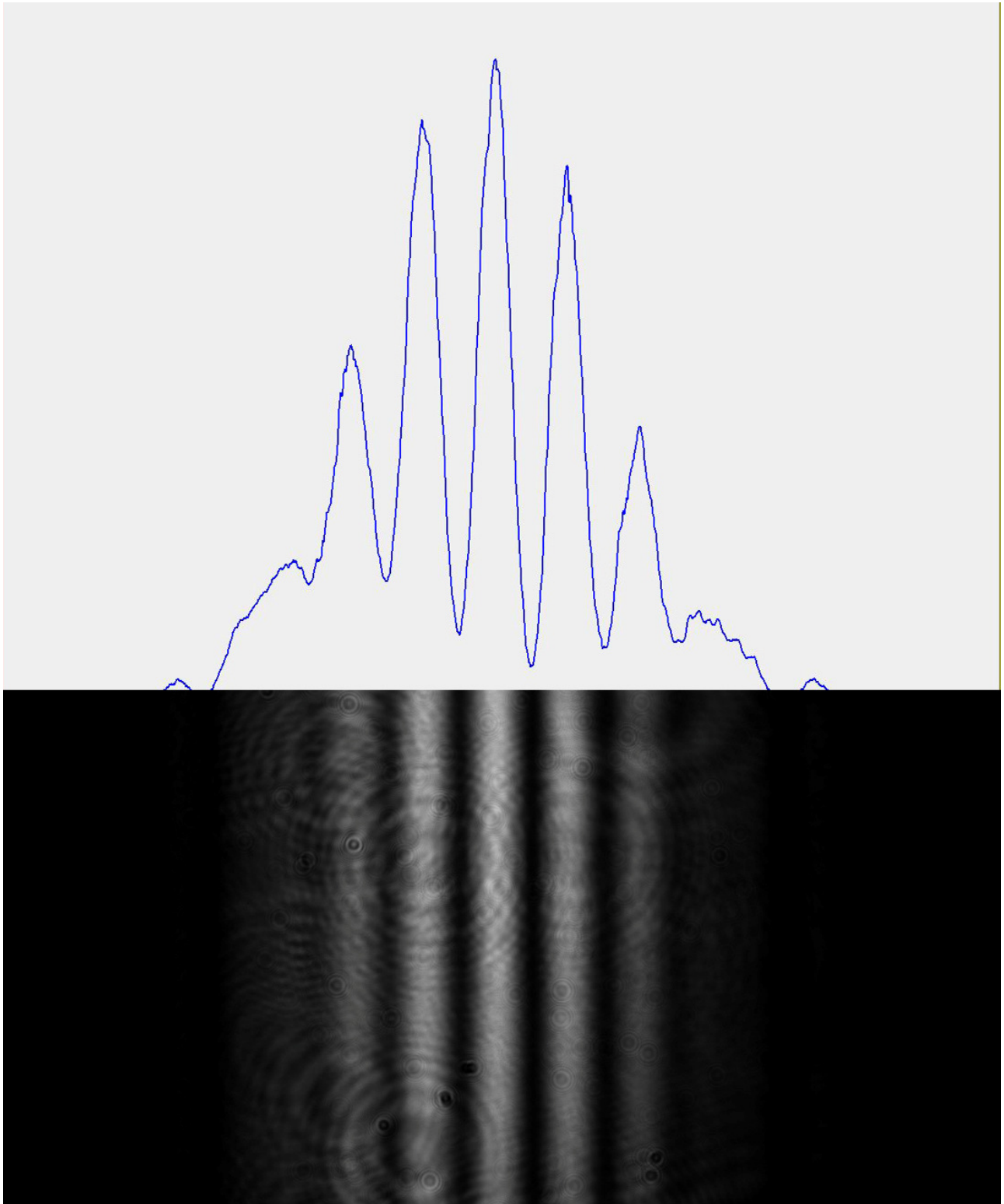
Lo specchio dentro il box (l'inclinazione non è quella effettivamente usata).





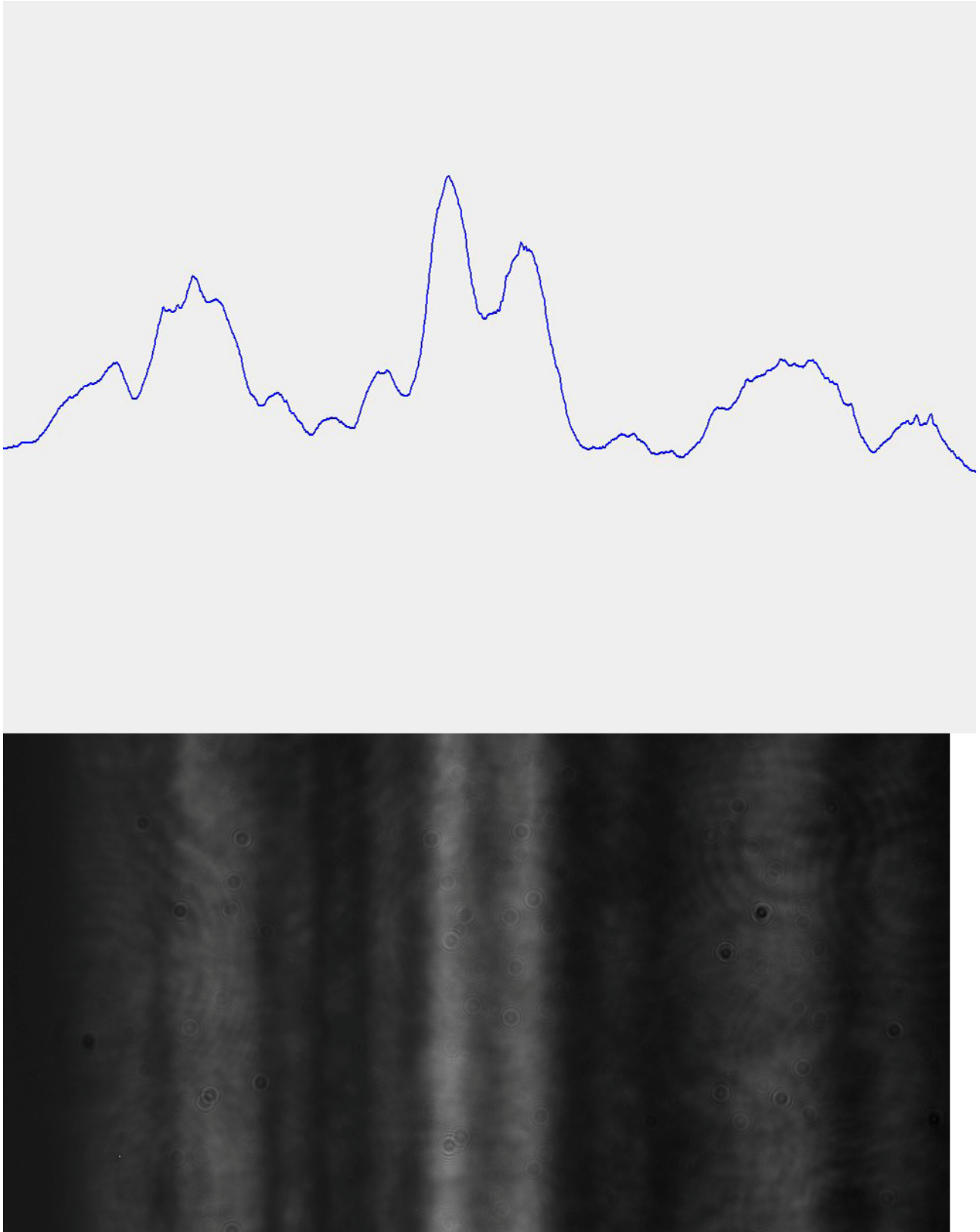
Come negli altri casi, anche stavolta il prisma della OAG che fa parte del sistema è stato rivolto verso il telescopio munito dei soliti filtri anteriori ed il foro stenopeico da 100 micron ed è stato acquisito un filmato con la DMK 51 AS, la cui elaborazione (stacking dei frames) ha fornito il risultato dell'immagine sottostante, quasi uguale a quella del primo caso.

As in the other cases, also this time the prism of the OAG that is part of the system has turned towards the telescope equipped with the usual front filters and the 100 micron pinhole and a film was acquired with the DMK 51 AS, whose elaboration (stacking of frames) provided the result of the underlying image, practically the same as in the first case.



Col prisma rivolto verso lo specchio si otteneva invece la seguente immagine:

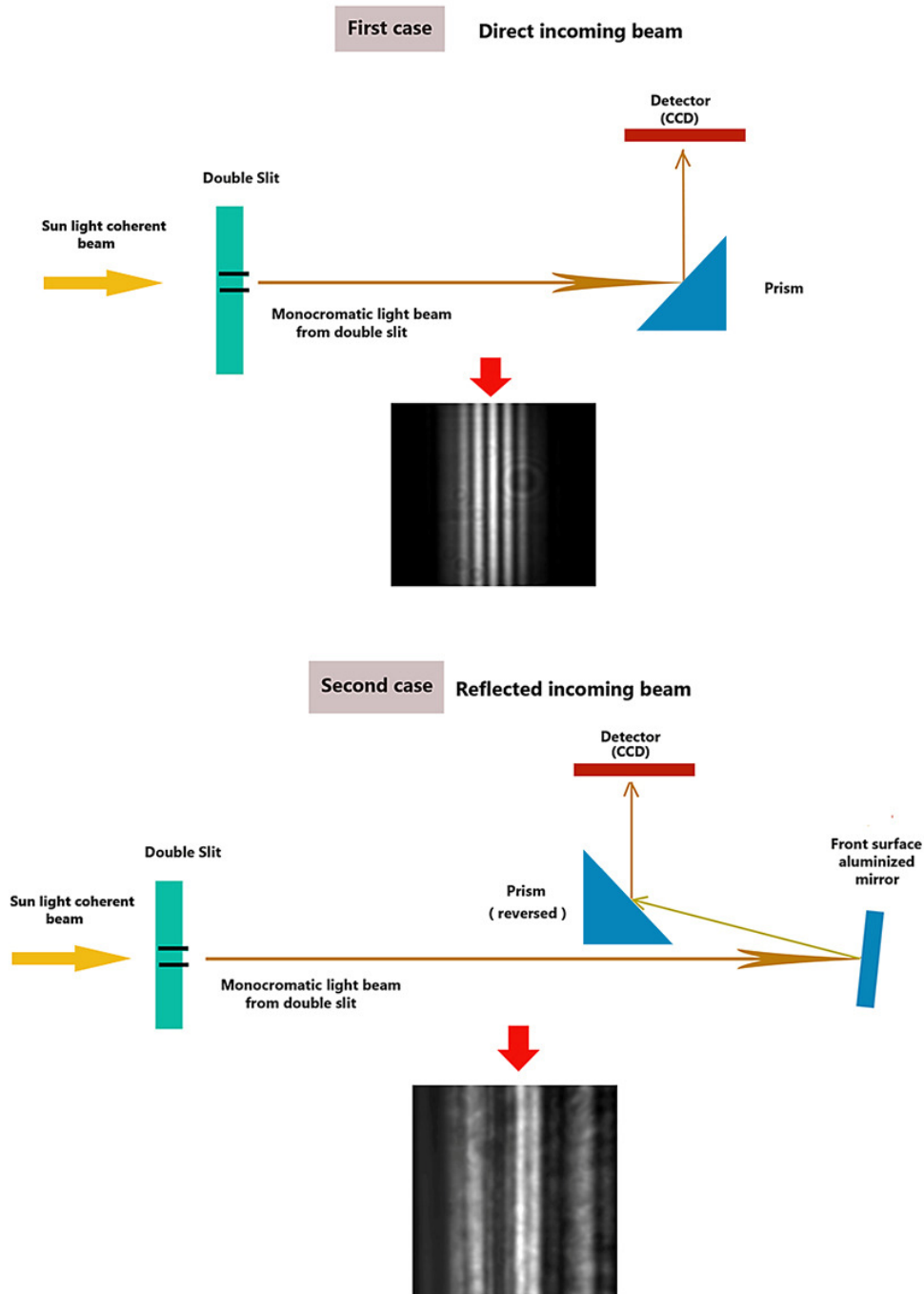
With the prism toward the mirror we obtained instead the following image



La sintesi grafica della questione posta nella quarta parte dell'esperimento può essere la seguente:

The graphical syntetis of the question of fourth case of the experiment could be the following:

Young pattern with direct incoming beam and reflected by a mirror



Annotazione : si cerca di comprendere il motivo per cui una semplice riflessione su uno specchio alluminato fa cambiare in modo abbastanza radicale il pattern di Young ottenuto nel primo caso

Annotation: we try to understand why a simple reflection on a front surface aluminized mirror causes the Young pattern obtained in the first case to change quite radically.

La prima parte dell'esperimento era volto a dimostrare che si può effettuare il celebre test di Young sulla natura ondulatoria della luce in modo semplice e casalingo, anche senza disporre di un laser, usando la luce solare, un filtro ed un foro stenopeico. Le ultime tre parti dell'esperimento (che comunque concordano nei risultati tra loro) erano cominciate senza pretese, per pura curiosità come un gioco sofisticato, ma tuttavia mi hanno posto di fronte ad effetti strani e non immediatamente apprezzabili sul piano logico. In pratica, mentre nel primo caso la luce arrivava al rivelatore attraverso il prisma direttamente dalla doppia fenditura producendo il classico pattern di Young, nel secondo vi giungeva dopo aver effettuato un ulteriore passaggio, la riflessione sul reticolo all'ordine 1 e l'ottica del collimatore; nel terzo arrivava dopo aver subito una riflessione nel reticolo posto all'ordine zero (assimilabile in linea di massima ad uno specchio piano) ed il passaggio attraverso l'ottica di collimazione ottenendo sue picchi in emissione ed altri molto più sfumati, nel quarto caso il fascio luminoso in uscita dalla doppia fenditura veniva semplicemente riflesso da uno specchio alluminato verso il prisma e la camera ovvero subiva in più, rispetto al primo caso, una sola riflessione, ottenendo anche stavolta, come nel caso precedente, due picchi in emissione anche se di intensità minore. Ho avuto l'impressione di osservare, nei casi 2, 3 e 4, due pattern di Young sovrapposti e sfasati di un valore molto piccolo, dell'ordine di 1-2 Å. Ora, come conciliare questi risultati col buon senso e con la logica della fisica senza disturbare la meccanica quantistica?

Una spiegazione immediata che mi salta alla mente è che negli ultimi due casi la doppia riflessione sia dovuta a quella dello strato superficiale riflettente (coating) e quella del substrato. Tuttavia, analizzando il secondo caso, ciò non sembra possibile, per il semplice fatto che, mentre lo strato superficiale contiene le microscalature che danno origine allo spettro, il substrato non potrebbe dare origine allo spettro, né ad altra riflessione, essendo molto più opaco del coating con le scalature del reticolo. Inoltre, la doppia riflessione dovrebbe essere avvertibile in tutti gli specchi piani alluminati con coating superiore, cosa che non ho mai sperimentato sinora con i miei CCD. Potrebbe trattarsi quindi di una interferenza di lamine sottili, considerando appunto il coating, in entrambi i casi, specchio e reticolo, come tale. Tuttavia non ho idea se un coating possa assimilarsi ad una lamina o pellicola sottile e men che mai sarei capace di calcolare lo sfasamento dei raggi riflessi. Usando le immagini ottenute, ho calcolato che lo sfasamento dei picchi centrali si aggiri sui 2 Å nei casi 2 e 4 e molto meno, circa 1 Å, nel caso 3, che peraltro si differenzia dagli altri per l'intensità dei picchi in emissione.

Una seconda spiegazione, che a mio avviso ritenevo la più probabile, era che i raggi marginali del flusso luminoso col pattern di Young ritornino indietro dallo specchio alla parte posteriore della doppia fenditura che, essendo in vetro è per forza di cose riflettente e quindi riflessi nuovamente sullo specchio alluminato e sul CCD. Questo spiegherebbe in modo semplice e lineare la doppia riflessione.

Un altro dubbio riguarda il livello di lavorazione dello specchio alluminato, probabilmente al di sotto di $\frac{1}{4}$ di λ , che potrebbe creare problemi.

Tuttavia la semplice idea non mi bastava, ed ho pianificato di rivedere il setup usato, con una doppia fenditura su acetato a minore risoluzione, ma sicuramente non riflettente ed un altro specchio lavorato ad $\frac{1}{6}$ di λ .

The first part of the experiment was aimed at demonstrating that Young's famous test can be carried out on the wave nature of light in a simple and homely way, even without a laser, using sunlight, a filter and a pinhole. The last three parts of the experiment (which in any case agree in the results between them) had begun unpretentiously, out of pure curiosity like a sophisticated game, but nevertheless placed me in front of strange effects and not immediately appreciable on a logical plane. In practice, while in the first case the light reached the prism directly from the double slit producing the classic Young pattern, in the second it arrived after making a further passage, the reflection on the grating in order 1 and the optics of the collimator producing a double spectrum in absorption of the H alpha line; in the third it arrived after having undergone a reflection in the grating placed in the zero order (comparable in principle to a flat mirror) and the passage through the collimation optics obtaining its peaks in emission and others much more nuanced, in the fourth case the light beam coming out of the double slit was simply reflected by an aluminized mirror towards the prism and the camera or, in addition, with respect to the first case, only one reflection, again obtaining, as in the previous case, two peaks in emission even if I had the impression of observing, in cases 2, 3 and 4, two overlapping and out-of-phase Young patterns of a very small value, of the order of 1-2 Å. Now, how to reconcile these results with common sense and with logic of physics without disturbing quantum mechanics?

The only immediate explanation that comes to my mind is that in the last two cases the double reflection is due to that of the reflective surface layer (coating) and that of the substrate. However, analyzing the second case, this does not seem possible, for the simple reason that, while the surface layer contains the microgrooves that give rise to the spectrum, the substrate cannot and does not give rise to the spectrum, being among other things much more

opaque than the coating with the grooves. Moreover, the double reflection should be noticeable in all the aluminized flat mirrors with superior coating, something I have never experienced before with my CCDs. It could therefore be an interference of thin sheets, considering in fact the coating, in both cases, mirror and grating, as such. However I have no idea if a coating can be assimilated to a thin sheet or film and that I would never be able to calculate the phase shift of the reflected rays. Using the images obtained, I calculated that the phase shift of the central peaks is around $2 \text{ \AA}$ in the cases 2 and 4 and much less, about $1 \text{ \AA}$, in the case 3, which also differs from the others for the peak intensity in emission.

A second explanation, that in my opinion was the most probable, was that the marginal rays of the luminous flux with the Young pattern return back from the mirror to the back of the double slit which, being made of glass is necessarily reflective, and therefore reflected back on the aluminized mirror and on the CCD. This would explain the double reflection in a simple and linear way.

Another doubt concerns the quality level of the aluminized mirror, probably below $\frac{1}{4}$ of λ , which could create problems.

However the simple idea was not enough for me, and I planned to review the setup used, with a double slit on non-reflective acetate support and another mirror worked at $\frac{1}{6}$ of λ .

La quinta (ed ultima) parte: una doppia fenditura non riflettente in acetato ed uno specchio alluminato lavorato ad $\frac{1}{6}$ di λ

The fifth (and last) part: an acetate not reflecting double slit and an aluminized mirror worked at $\frac{1}{6}$ of λ

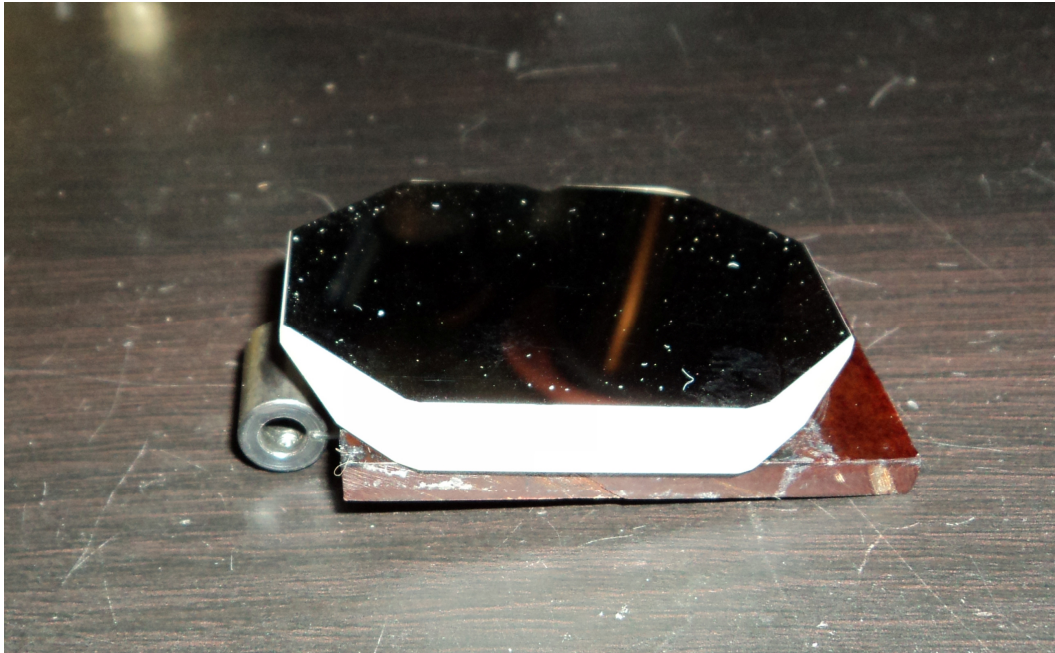
Ricordavo di possedere un telaio per diapositive con una serie di aperture, tra cui una doppia fenditura in acetato, acquistato da 3B Scientific insieme alla serie di doppie fenditure su supporto in vetro usata in precedenza. Pensai quindi di usare la doppia fenditura in acetato per una definitiva prova del nove sulla ricerca che stavo portando avanti, dato il supporto della stessa non aveva proprietà riflettenti né sulla parte anteriore né su quella posteriore. Le due fenditure in acetato avevano un'apertura di 0.15 mm ed erano poste a 0.20 mm l'una dall'altra. La risoluzione era quindi nettamente inferiore, come c'era da aspettarsi, a quelle su supporto di vetro, tuttavia a mio avviso sufficiente per la verifica che andavo ad effettuare.

I remembered owning a frame for slides with a series of apertures, including a double slit in acetate, purchased by 3B Scientific together with the series of double slits on a glass support previously used. I therefore thought of using the double slit in acetate for a final test of the research I was carrying out, given its support had no reflective properties. The two acetate slits had an opening of 0.15 mm and were placed at 0.20 mm from each other. The resolution was therefore clearly inferior, as was to be expected, to those on glass supports, but in my opinion sufficient for the verification I was going to carry out.



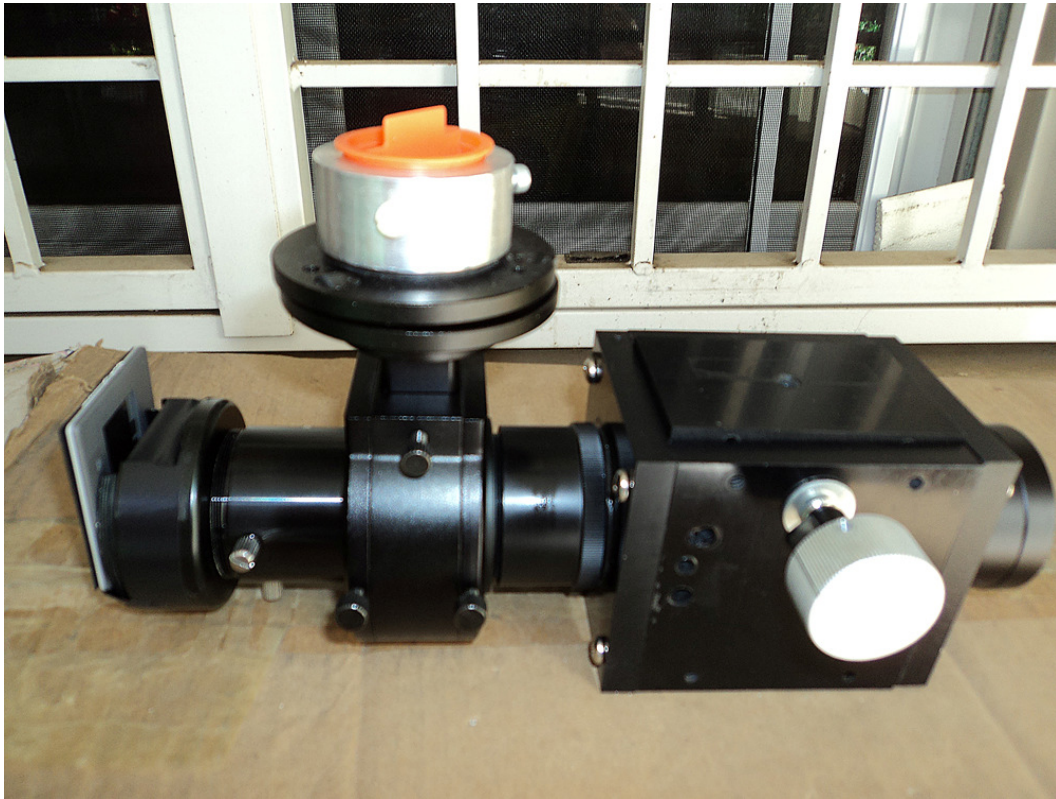
Ovviamente la doppia fenditura usata, la prima a sinistra della foto, andava centrata nel percorso ottico, e quindi montata fuori asse, cosa che ho fatto grazie ad un supporto in alluminio. Possedevo anche un ottimo specchio di fabbricazione russa lavorato (su test effettuato) ad $1/6$ di λ , quindi nettamente superiore come qualità ottica, a quello usato in precedenza.

Obviously the double slit used, the first one on the left of the photo, was to be centered in the optical path, and then mounted off axis, which I did thanks to an aluminum support. I also had an excellent mirror of Russian manufacture worked (on tests carried out) at $1/6$ of λ , therefore clearly superior in optical quality to that used previously.



Con questi due elementi nuovi mi accinsi quindi ad effettuare il quinto ed ultimo test dell'esperimento, dopo aver assemblato un nuovo box atto a contenere lo specchio di dimensioni maggiori del precedente.

With these two new elements I then proceeded to carry out the fifth and final test of the experiment, after having assembled a new box capable of containing the mirror, larger than the previous one.



Nella foto sopra il sistema specchio, OAG e fenditura pronto per il montaggio: lo specchio è basculabile sul proprio asse per controllare l'inclinazione esatta verso il prisma deviatore (ca 5-6 gradi).

In the picture above the mirror and slit system ready for assembly: the mirror can be tilted on its own axis to control the exact inclination towards the diverter prism (about 5-6 degrees).



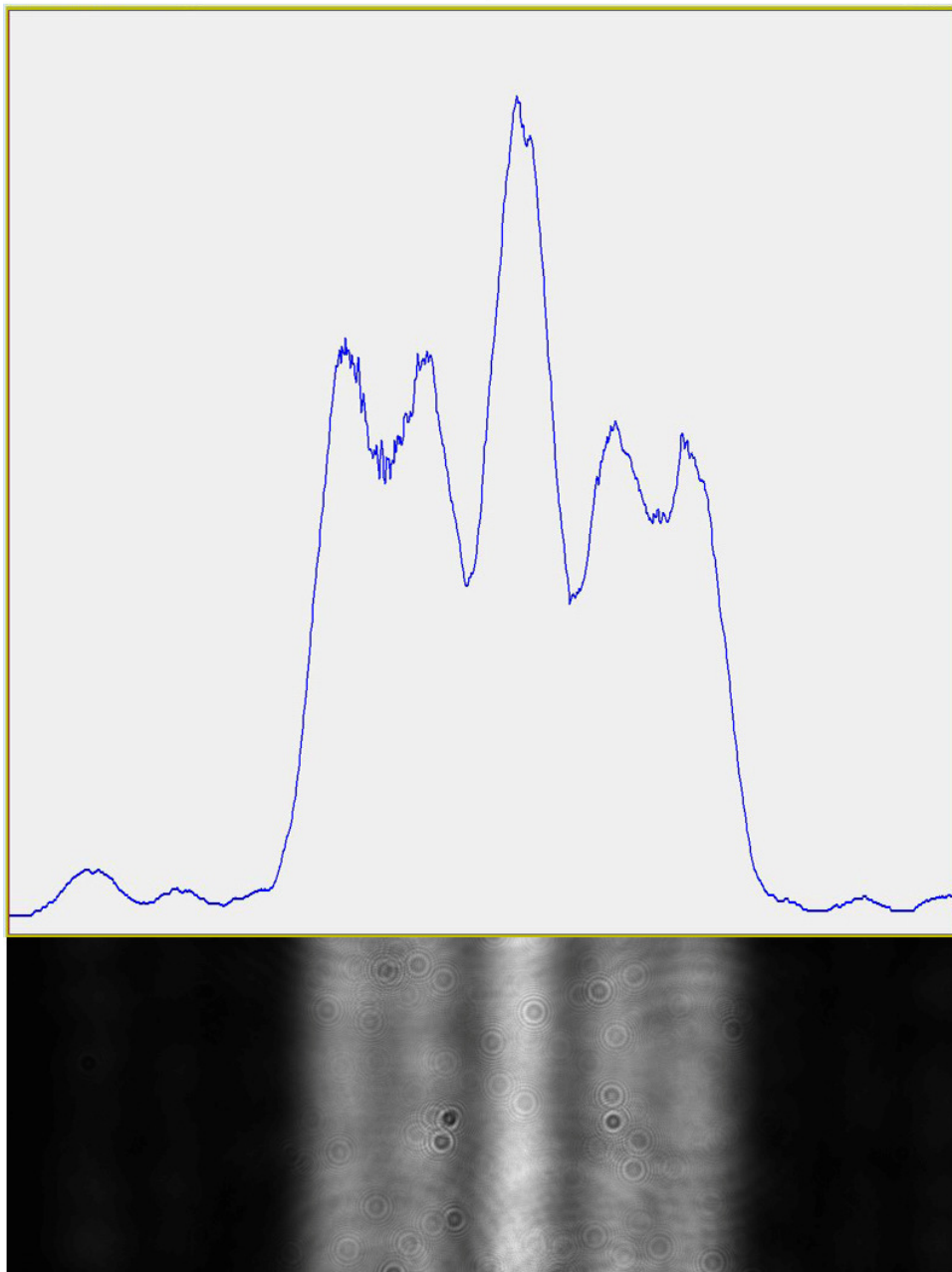
Il nuovo sistema montato pronto per la prova: non nascondo di essere stato molto incuriosito dalla parte finale di quello che, iniziando quasi come un semplice test di fisica oggi alla portata di chiunque abbia un laserino ed una doppia fenditura di 10 €, era diventato qualcosa di molto più complesso ed elusivo: gli effetti della riflessione del pattern di Young in uscita dalla doppia fenditura prima di raggiungere lo schermo od il rivelatore (nel mio caso il prisma e poi il sensore CCD della camera).

The new system mounted and ready for the test: I do not hide the fact that I was very intrigued by the final part of what, starting almost like a simple physics test now available to anyone with a laser and a € 10 double slit, had become something much more complex and elusive: the effects of the reflection of the Young pattern exiting the double slit before reaching the screen or the detector (in my case the prism and after the CCD sensor of the camera).

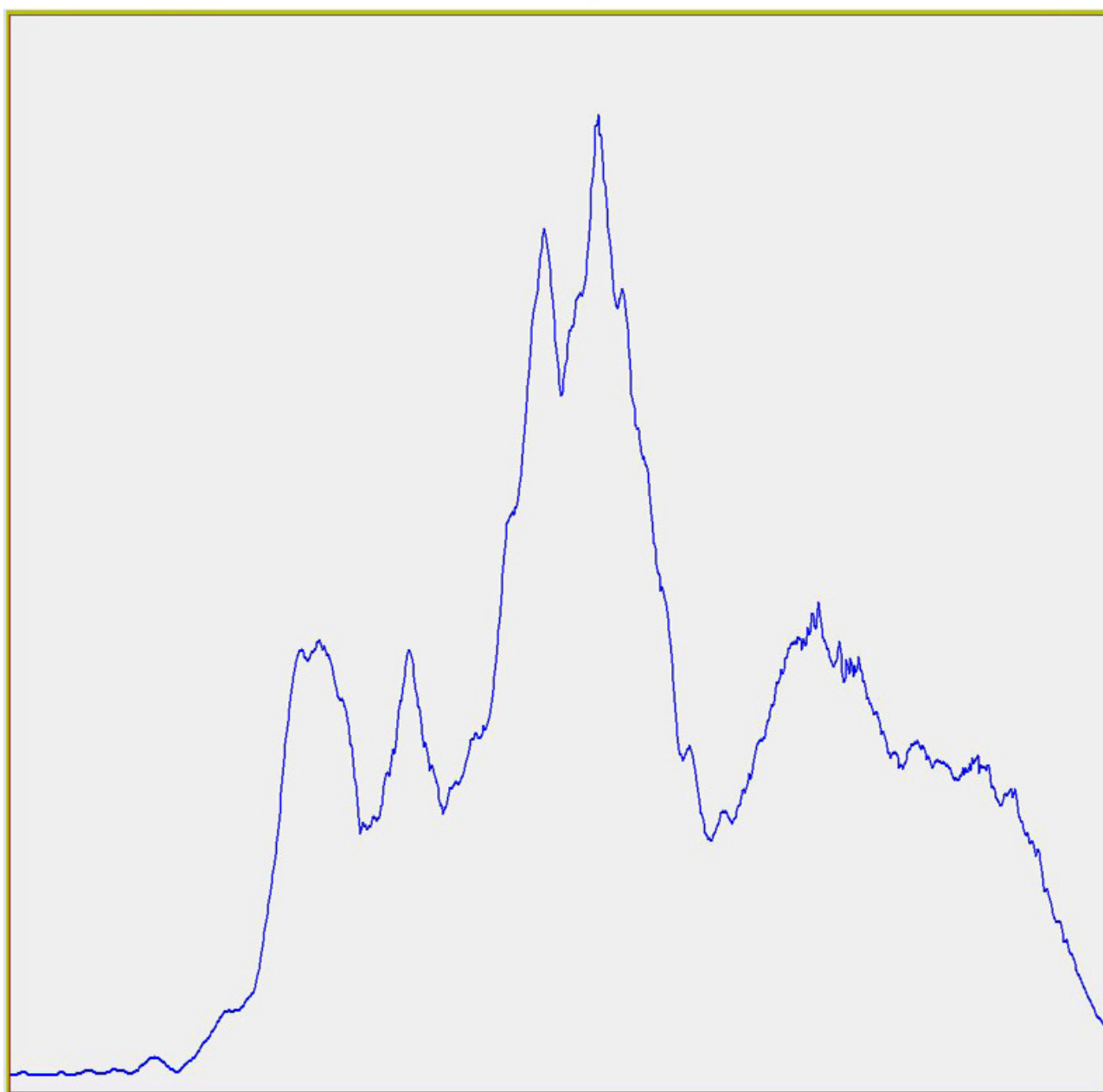
E qui di seguito il risultato:

And here is the result:

Acetate double slit: prism vs pinhole



Acetate double slit prism vs mirror

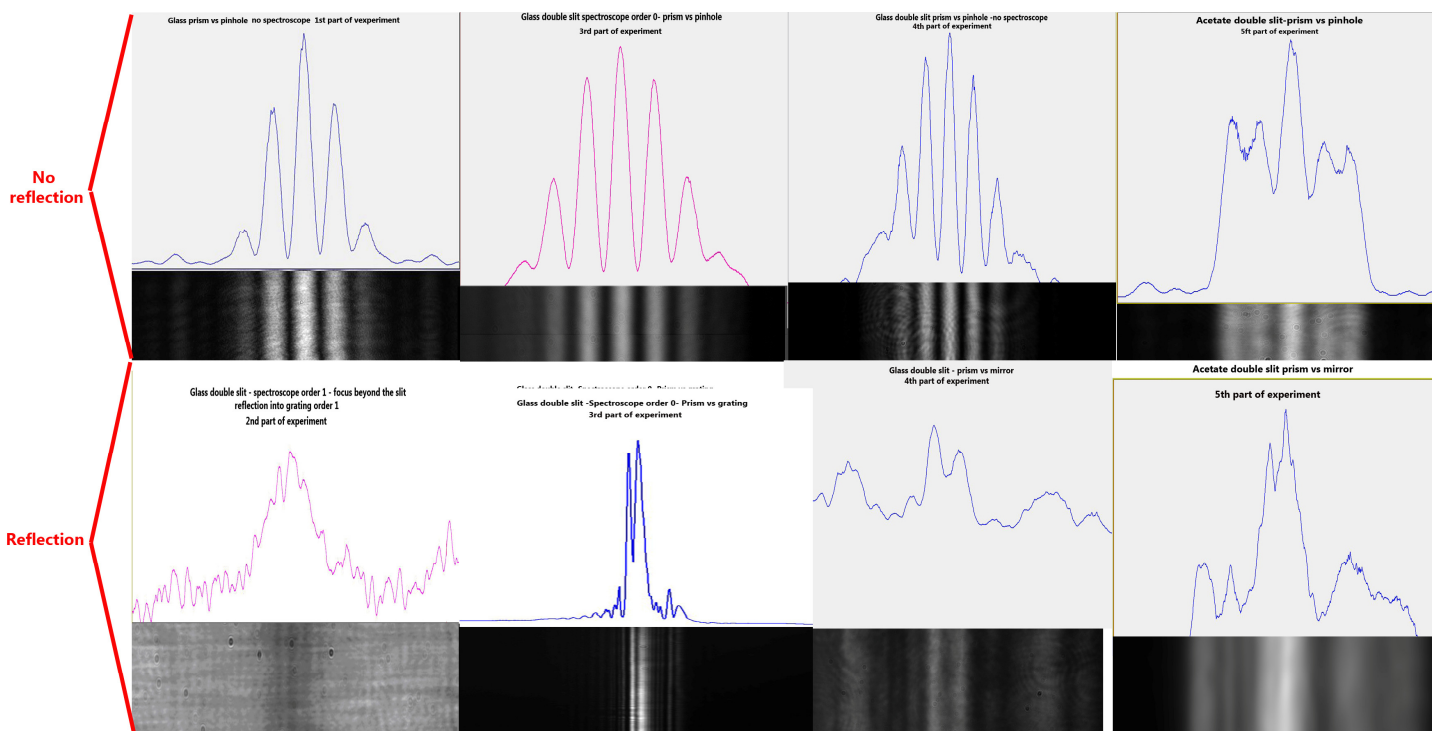


Ancora una volta, pur tenendo conto della minore risoluzione della doppia fenditura in acetato, il pattern cambia per effetto delle riflessione sullo specchio, con una doppia cuspid.

Posso ora effettuare le valutazioni finali di questo lavoro, che si sintetizzano da sole nell'immagine sotto riportata

Once again, while taking into account the lower resolution of the double slit in acetate, the pattern changes due to the reflection on the mirror, with a double cusp.

I can now make the final assessments of this work, which are summarized by themselves in the image below



In definitiva, quindi, come si può osservare, il pattern di diffrazione di Young NON viene in alcun modo modificato dal prisma deviatore, mentre viene modificato se nel percorso ottico tra la doppia fenditura ed il prisma stesso ed il rivelatore viene inserito uno specchio alluminato nella superficie rivolta verso il raggio incidente. Si nota in tal caso un pattern a doppia cuspid, più o meno simile (risoluzione a parte) in tutte le prove effettuate. I motivi di tale comportamento del gruppo di fotoni mi sono sconosciuti, ma mi farebbe piacere se persone più competenti di me in ottica , fisica o fisica quantistica

potessero fornire una spiegazione adeguata al fenomeno,ivi compresi errori nella procedura usata.

Ultimately, therefore, as can be observed, Young's diffraction pattern is NOT modified in any way by the deflecting prism, while it is modified if an aluminized mirror is inserted in the optical path between the double slit and the prism itself and the detector, with surface facing the incident ray. In this case a double cusp pattern is noted, more or less similar (resolution apart) in all the tests carried out. The reasons for this behavior of the photon group are unknown to me, but I would like if people more competent than me in optics, physics or quantum physics could provide an adequate explanation for the phenomenon.

Fulvio Mete

<http://www.lightfrominfinity.org/>

<http://www.pno-astronomy.com/>

<http://www.amateur-astronomy-researchers.com/>

fulvio_mete@fastwebnet.it

fulvio.mete@gmail.com

