



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ODS Filmi: Kimy. Banyo Bir. Yönt. İle Elde Ed. ve Optik Özel. İnc.

Doktora Tezi

FATMA TEPEHAN

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK BÖLÜMÜ

Comp.
✓

Demirbaş,
42664

**CdS FİMLERİNİN KİMYASAL BANYO BİRİKİMİ
YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLMESİ
VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

22

DOKTORA TEZİ

Fatma Z. TEPEHAN (KEHA)



İSTANBUL — 1984

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK BÖLÜMÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R210-

Kot : 22
Alındığı Yer : Fen Bil. Enst.
Tarih : 16/9/1987
Fatura : -
Fiatı : 1200Tl.
Ayniyat No : 1/6
Kayıt No : 44909
UDC : 538 378.242
Ek :



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her safhasında değerli önerileri ile bana yol gösteren hocam Prof.Dr. Sait Akpınar'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam sırasında her türlü desteğini, hiçbir zaman esirgemeyen hocam Prof.Dr. Nezihe Taşköprülü'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, kıymetli yardımları için Prof.Dr.Hülya Demiryont ve aletleri ile ölçü yapma olanağı vererek, çalışmanın bitmesinde büyük katkıları olan, İ.Ü. Mühendislik Fakültesinden Prof.Dr. F.Baykut ile İ.T.Ü. Maçka Maden Fakültesinden Prof.Dr. A.Kumbasar ve bu fakültelerde ölçü almama yardım eden arkadaşlara teşekkür ederim.

Ayrıca 1,5 yıllık bir zaman sürecinde, filmlerin optik geçirgenliğinin değişimi incelendi. Yapılanlarda film kalınlığı ve tavlama şartlarının etkili olduğu görüldü.

Kalınlığı 150-480 nm. aralığında değişen tavlama-
mış üç film için, kırılma ve yansıtma indisi değerleri, optik geçirgenlik katsayısı değerlerinden numerik analiz yöntemi ile hesaplanarak bulunuldu.

Ö Z E T

Bu çalışmada kimyasal banyo birikimi yöntemi kullanılarak kalınlıkları 150-500 nm. arasında değişen kadmiyum sülfür (CdS) filmleri elde edildi.

Kaplamalar yapılırken, bileşenlerin çözeltilerinin karıştırılma sıra ve sıcaklıkları değiştirilerek düzgün, tekrarlanabilir filmlerin elde edilmesine çalışıldı. En iyi filmler, deneme-yanılma yöntemi ile amonyak ve tiyoüre'nin oda sıcaklığında karıştırılmasından sonra 45°C'de kadmiyum sülfat ilavesi ile elde edildi.

90°C'de 30 dakikalık kaplama süresinde oluşan 310 nm. kalınlığındaki filmlere, daha sonra ısı işlem uygulandı. 90 - 350°C'lik sıcaklık aralığında havada 1 saat tavlanan filmler hızlı ve yavaş soğumaya bırakıldılar. 400-900 nm.'lik dalga boyu aralığında optik geçirgenliği incelenen bu filmlerde, tavlama sıcaklığı ve soğuma koşullarına bağlı olarak optik geçirgenliğin değiştiği gözlemlendi. Bu çalışma ile, optik geçirgenliğin en büyük değerini 150°C'deki tavlama sıcaklığı ve yavaş soğuma halinde aldığı belirlendi.

Ayrıca 1,5 yıllık bir zaman sürecinde, filmlerin optik geçirgenliğinin değişimi incelendi. Yaşlanmada film kalınlığı ve tavlama şartlarının etkili olduğu görüldü.

Kalınlığı 150-480 nm. aralığında değişen tavlama-
mış üç film için, kırılma ve söndürme indisi değerleri, op-
tik geçirgenlik katsayısı değerlerinden nümerik analiz yön-
temi ile bilgisayarla hesaplandı ve 400-900 nm. dalga boyu
aralığındaki eğrileri çıkarıldı. Yine aynı dalga boyu aralı-
ğı için filmlerin absorpsiyon katsayıları hesaplanarak eğri-
leri çizildi. Temel absorpsiyon kesim frekansından, yasak
enerji aralıkları ve bunlar üzerinde yapılan hatalar tablo-
da görüldüğü gibi hesaplandı.

Film kalınlığı (nm)	Yasak enerji Aralığı (eV)
150	2,45 ₁ ± 0,06 ₃
310	2,40 ₁ ± 0,06 ₂
480	2,35 ₃ ± 0,05 ₇

Filmlerin X ışınları difraktometresi ile yapılan yapı analizlerinde; zayıf kristalitlerden oluşukları ve (C111) düzleminde tercihli yönlenme gösterdikleri gözlemlendi.

Optical transmission of these films were investigated between the wavelength of 400-900 nm. It was observed that the change of optical transmission was depending on the annealing temperature and cooling conditions. With the

present work it was found that the largest value of optical transmission were reached at the annealing temperature of 150°C by slow cooling.

In addition, the variation of optical transmission of the films were investigated for the period of 1.5 year.

SUMMARY

Thickness of the films and conditions of the annealing were found to be effective factors for aging.

In the present work, Cadmium Sulfide (CdS) film were prepared by chemical bath deposition techniques. The thickness of the films varied between 150-500 nm.

The refractive indices and extinction coefficients were calculated for the films between the thickness of 150-450 nm. The calculations were made from the optical

Smooth and repeating films were tried to be obtained by changing temperature and order of the mixture of various reactants. Using trial and error methods, the best films were obtained by mixing amoniac (NH_3) and thiourea (NH_2)₂CS in room temperature. This mixture was heated up to 45°C and than cadmium sulfate (CdSO_4) was added to it.

Forbidden band gaps and their errors determined from the fundamental absorption threshold frequency are shown

Later, those films of 310 nm. thick were annealed where they were obtained in 30 min. at 90°C. The films annealed on a hour in air between 90°C and 350°C were left for fast and slow cooling.

Optical transmission of these films were investigated between the wavelength of 400-900 nm. It was observed that the change of optical transmission was depending on the annealing temperature and cooling conditions. With the

Optical transmission of these films were investigated between the wavelength of 400-900 nm. It was observed that the change of optical transmission was depending on the annealing temperature and cooling conditions. With the

present work it was found that the largest value of optical transmission were reached at the annealing temperature of 150°C by slow cooling.

In addition, the variation of optical transmission of the films were investigated for the period of 1,5 year. Thickness of the films and conditions of the annealing were found to be effective factors for aging.

The refractive indices and extinction coefficients were calculated for the films between the thickness of 150-480 nm. The calculations were made from the optical transmission coefficients by numerical analysis using a computer program and their curve were obtained for the wavelength of 400-900 nm. Absorption coefficients of the films of the same wavelength were calculated and plotted.

Forbidden band gaps and their errors determined from the fundamental absorption threshold frequency are shown in the table.

Film thickness (nm)	Forbidden band gap (eV)
150	$2,45_1 \pm 0,06_3$
310	$2,40_1 \pm 0,06_2$
480	$2,35_3 \pm 0,05_7$

Structural analysis showed that the films were composed from weak crystallines and they show (111) orientation.

V. SONUÇLAR	
V.1. ÖLÇÜLEN DEĞERLER	
V.2. HESAPLAMALAR	
I. GİRİŞ	1
II. Cds İNCE FİLMLEİNİ OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ	6
II.1. BUHARLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	6
II.2. KİMYASAL YÖNTEMLER	9
II.2.a. Püskürtme Yöntemi	9
II.2.b. Kimyasal Banyo Birikimi Yöntemi	10
III. YARI İLETKENLERDE OPTİK ABSORPSİYON	16
III.1. YARI İLETKENLERDE OPTİK ABSORPSİYON	17
III.1.a. Direkt Geçişli Yarı İletkenlerde Optik Absorpsiyon	17
III.1.b. İndirekt Geçişli Yarı İletkenler- de Optik Absorpsiyon	20
IV. DENEY	23
IV.1. Cds FİMLERİNİN HAZIRLANMASI	23
IV.1.a. Taşıyıcıların temizlenmesi	23
IV.1.b. Kullanılan Düzenek	23
IV.1.c. Örneklerin Hazırlanması	25
IV.1.d. Örneklerin Tavlanması	26
IV.2. ÖLÇMELER	27
IV.2.a. Geçirgenlik Ölçmeleri	27
IV.2.b. Yapı Analizi Ölçmeleri	27
IV.2.c. Film Kalınlığının Ölçülmesi	28
IV.2.d. Taşıyıcıların Kırılma İndisleri- nin ölçülmesi	28

V. SONUÇLAR	29
V.1. ÖLÇÜLEN DEĞERLER	29
V.2. HESAPLAMALAR	49
V.2.a. Kırılma ve Söndürme İndislerinin Dalga Boyuna Bağlı Olarak Geçir- genlik Değerlerinden Hesaplanması	49
V.2.b. Absorpsiyon Katsayısının Hesap- lanması	59
V.2.c. Yasak Enerji Aralığının Bulunması	61
VI. TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	70
EK: I	
EK: II	
EK: III	

davranışları Pado, Kobaykov, Sysoev (1961), elektrik alan-
daki elektro yansıtma spektrumu Tyagal, Bondarenko, Snitko
(1971), elektrik alanın optik geçirgenliğe etkisi Honda ve
Fujimori (1972), ultrasonik dalgaların etkisi D'yakov ve
Iltisavskii (1970), Franz-Keldysh Olayı Tyagal ve Bondarenko
(1970), Marcellin (1972) tarafından incelenmiş-

I. G İ R İ Ş

Kadmiyum sülfür (CdS); gösterdiği ilginç fiziksel özellikler ve kullanma alanlarının çokluğu bakımından uzun yıllardan beri yoğun çalışmalara konu olmaktadır. Bilindiği gibi CdS, fotoiletken malzeme, ince film transistörü, transduser ve güneş pilleri yapımı ile güneş pillerinde pencere malzemesi olarak kullanılmaktadır.

CdS'de bugüne kadar yapılan çalışmaları şöyle özetleyebiliriz: Optik özellikleri Gottesman ve Ferguson (1954), Kuwabara (1954), Hall ve Ferguson (1955), Dutton (1958), Shalimova, Travina, Golik (1961), Böer, Esbitt, Kaufman (1967), Stasenko (1968), Shalimova, Khirin (1969) tarafından incelenmiştir. Diğer yandan Marshall, Mitra (1964) ve Shalimova ve Khirin (1969)'in optik fonon modları hakkındaki çalışmaları kayda değer. CdS'ün lüminesansını Kröger (1940), Lambe (1955), Bleha (1970), iletkenliğini Lambe (1955), Bube, Thomson (1955), Goldenberg, Charakov (1966), Markowich, Sheinkman (1971) incelemişlerdir. CdS'de çok incelenen eksiton ve spektrumları Perov, Avdeeva, Zhdan, Elinson (1968), Hopfield (1961), Abromov (1971), Litton, Reynold, Collins (1972) tarafından araştırılmıştır. Piezoelektrik ve elastik

davranışları Pado, Kobayakov, Sysoev (1961), elektrik alan-
daki elektro yansıtma spektrumu Tyagai, Bordarenko, Snitko
(1971), elektrik alanın optik geçirgenliğe etkisi Honda ve
Fujimori (1972), ultrasonik dalgaların etkisi D'yakonov ve
Ilisavskii (1970), Franz-Keldysh Olayı Tyagai ve Bondarenko
(1970) ve Bujatti ve Marcelja (1972) tarafından incelenmiş-
tir.

Ayrıca CdS katkılı olarak veya alaşımlar halinde
de pek çok araştırmaya konu olmuştur. $CdS_{0,9}Te_{0,1}$ 'in foto-
iletken davranışları Cruceanu, Dimitrov (1969), CdS_xCdSe_{1-x} '
ün dispersiv özellikleri Brodin ve Strashnikova (1967),
CdS-Te filmlerinin yasak enerji aralıkları ve faz değişimle-
ri Richardson (1973), CdS_xTe_{1-x} kristalinin optik enerji
aralığı Ohata, Saraie, Tanaka (1973) tarafından incelenmiş-
tir.

Yüksek akımlı fotoiletken CdS pillerini Nicoll ve
Kazan (1955), CdS-ZnS güneş pillerini Martinuzzi (1975),
CdS/Cu₂S güneş pilleri Mattox (1967), Islam Haque (1982),
CdS/Cu_xS güneş pillerini Saksena, Pandya, Chopra (1982) in-
celediler.

CdS'ü güneş pillerinde pencere malzemesi olarak kul-
lanmak üzere Romeo, Sberveglieri, Tarricone (1977, 1978) ve
Coutts (1982) araştırmalar yaptılar.

n CdS/p CdTe heterokavşakların fotovoltaik davranışları Ma, Fahrenbruch, Bube (1977), Mn katkılı CdS'ün fotoelektrik davranışları Jankowska, Lepek (1980), Cu ve Cl katkılı CdS'ün fotoiletkenliği Parada, Schabowska (1980) tarafından incelendi. ~~incelenmiştir.~~

Bu teze konu olan kimyasal banyo birikimi yöntemi ile hazırlanmış olan CdS ve katkılı CdS filmleri üzerinde yapılan çalışmaları ve araştırmacıları şöyle sıralayabiliriz: Büyüme kinetikleri Kaur, Pandya, Chopra (1980), katkılı ve saf CdS ince filmlerinde iletkenlik, yasak band aralığı değişimi, alan etkisi, sıcaklığın spektral respons üzerine etkisi ve Hall ölçmeleri Pavaskar, Menezes, Sinha (1977), CdS:Li ince filmlerinde tavlamanın fotoiletkenliğe etkisi Shikalgar, Bargale, Pawar (1977) CdS:Li filmlerinin fotoiletkenliği Shikalgar, Pawar (1979), aynı filmlerin optik özellikleri yine Shikalgar, Pawar (1979), CdS:Na filmlerinin fotoiletkenliği ve tavlama süresinin etkisi Bargale, Shikalgar, Pawar (1978), CdS:Na filmlerinde fototermoelektrik özellikler Bargale, Shikalgar, Pawar (1979), Li dopeli CdS filmlerinin elektrik özellikleri Shikalgar, Pawar (1979) tarafından incelenmiştir. Kimyasal banyo birikimi yöntemi ile elde ettikleri filmlerde laser tavlama Martinez, Martinez, Zehe (1982), aynı yöntemle CdS-PbS kompoze filmlerinin eldesi Reddy, Pandya, Chopra (1982), güneş pilleri ise Chandro, Pandey, Agrawal (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; günümüz teknolojisinde foto - iletken olarak, güneş pillerinin yapımında ve güneş pille - rinde pencere malzemesi olarak kullanılan CdS'ün tekrarla - nabilir, düzgün filmlerini hazırlamak ve bu filmlerin op - tik özelliklerini incelemektir. yapılmıştır.

Film hazırlama yöntemi olarak, kimyasal banyo biri - kimi yöntemi kullanıldı. Bu yöntemin seçiliş nedeni ve di - ğer yöntemlere göre avantajlarından ilerde bahsedilecektir.

Elde edilen 150-480 nm. kalınlığındaki CdS filmle - rinin, optik geçirgenlik ölçmelerinden yararlanarak indis, söndürme indisi, absorpsiyon katsayısı ve yasak band aralı - ğı hesaplandı. Ayrıca filmler 90 - 350°C aralığında havada 1 saat tavlandıktan sonra hızlı ve yavaş soğumaya bırakıl - dı. Optik geçirgenliklerinin değişimi ve nedenleri üzerin - de duruldu. Aynı filmlerin 1 hafta ve 1,5 yıl aralığındaki yaşlanmasına bakıldı.

Çalışmanın birinci bölümü giriş niteliğinde olup burada CdS'de yapılan çalışmaların bir özeti verilmiştir. İkinci bölümde CdS filmlerinin elde edilmesi için kullanı - lan yöntemler ve bu çalışmada seçilen yöntemin tercih nede - ni anlatılmıştır. Üçüncü bölüm teorik bölüm olup yarı ilet - kenlerde ışık absorpsiyonu ve yasak enerji aralığının bulun - ması hakkındaki bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde

filmlerin hazırlanması ve ölçülerin yapılmasından bahsedilmiş, beşinci bölümde ölçü neticeleri ve ölçülen büyüklükler yardımıyla yapılan hesaplamalara yer verilmiştir. Neticele-
rin tartışması sekizinci bölümde yapılmıştır.

II. CDS İNCE FİMLERİNİN OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ

Cds ince filmlerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemleri iki ana başlık halinde toplamak mümkündür.

II.1 - BUHARLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

İki ve daha çok bileşenli buharların taşıyıcı üzeri-
ne birikimi en iyi şekilde Freller ve Gunther (1969) ta-
rafından incelenmiştir. Araştırmacılar stokiyometrik filmlerin el-
de edilmesi için gerekli şartları, bileşenlerin partiyolları-
nın taşıyıcı üzerine gelme miktarı ve taşıyıcı sıcaklığı-
na bağlı olarak belirlediler.

Devlert ve Kelly (1965) Cds'ün ısıtıldığında kadmi-
yum ve kükürt buharları halinde ayrışıp, taşıyıcı üzerinde
Cds filmi oluşturduğunu gösterdiler. Cd ve S'nin ayrı po-
talardan buharlaştırarak Cds filmleri elde ettiler.

Ferguson ve Gottesman (1954), Boer, Esbitt, Kaufman
(1957) Blaha (1970), Mujatti Marcelja (1972) Cds filmlerini
bu Cds'ın buharlaştırarak oluşturduklarını gösterdiler.

II. CdS İNCE FİMLERİNİ OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ

CdS ince filmlerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemleri iki ana başlık halinde toplamak mümkündür.

II.1 - BUHARLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ :

İki ve daha çok bileşenli buharların taşıyıcı üzerine birikimi en iyi şekilde Freller ve Gunther (1969) tarafından incelendi. Araştırmacılar stökiyometrik filmlerin elde edilmesi için gerekli şartları, bileşenlerin partiküllerinin taşıyıcı üzerine gelme miktarı ve taşıyıcı sıcaklığına bağlı olarak belirlediler.

DeKlerk ve Kelly (1965) CdS'ün ısıtıldığında kadmiyum ve kükürt buharları halinde ayrışıp, taşıyıcı üzerinde CdS filmleri oluşturduğunu gösterdiler, Cd ve S'ü ayrı potarlardan buharlaştırarak CdS filmleri elde ettiler.

Ferguson ve Gottesman (1954), Böer, Esbitt, Koufman (1967) Bleha (1970), Bujatti Marcelja (1972) CdS filmlerini toz CdS'ü buharlaştırarak oluşturdular.

Kuwabara (1954) önce pH'sı 2-6 olan Cd çözeltilisinden H₂S gazı geçirerek kimyasal yolla CdS elde etti, sonra bu CdS'ü vakumda buharlaştırarak filmleri hazırladı.

Vakum tekniğinde buharlaştırma kaynağı olarak kuvartz potacık, alimüna kaplı tungsten sepetçik, molibden havuz taşıyıcı olarak da cam kuvartz süporlar kullanıldı.

Kaplamalarda taşıyıcı sıcaklığının filmlerin yapısı bakımından önemli bir parametre olduğu, buharlaştırma kaynağı ve taşıyıcı cinsinin film yapısını etkilemediği görüldü.

Freller ve Gunther (1969) 200-300°C lik taşıyıcı sıcaklıkları için stökiyometrik filmler elde ederlerken deKlerk ve Kelly (1965) stökiyometrik filmlerini 10³-10⁴ torr'luk basınç bölgesinde 10 A⁰/s - 100 A⁰/s lik buharlaştırma hızında ve 50-200°C'lik taşıyıcı sıcaklığı bölgesinde elde ettiler.

Srivastava, Prakash ve Badve (1979) filmlerini 10⁻⁶ torr basınçta 10 A⁰/dak. lik buharlaştırma aralığında ve 150°C deki taşıyıcı sıcaklığında tantalyum kayıkçıktan CdS'ü buharlaştırarak hazırladılar.

Chen-ho Wu, Bube (1974) CdS filmlerini vakumda 10⁻⁵ Torr basıncında 200-260°C'ye kadar ısıttıkları taşıyıcılar üzerine kapladılar.

Wendland (1962) ve Bujatti (1968) CdS filmlerinde, 150-200°C'lik taşıyıcı sıcaklıklarında fazla miktarda kübik faz, 250°C - 280°C arasında amorf faz ve 280-400°C arasında sadece hexagonal faz gözlediler. Yine Wendland (1962) taşıyıcı sıcaklığı azaldıkça amorf fazın arttığı ve optik geçirgenliğin de azaldığını belirledi. Bleha (1970), filmlerini $3-5 \cdot 10^{-6}$ Torr basınç ve 140-190°C lik taşıyıcı sıcaklığı bölgesinde hazırladı.

1978 yılında yaptığımız bir çalışmada (Keha 1978) CdS filmleri $5 \cdot 10^{-4}$ torr basınçta, 900 A°/dak. ve 100 A°/dak'lık buharlaştırma hızlarında, 180°C'lik taşıyıcı sıcaklığında, toz CdS'ün molibden havuzdan buharlaştırılmasıyla elde edildi.

Shalimova, Travina Golik (1961) CdS filmlerini CdS'ü asal gaz atmosferinde ve saf Cd'u H₂S atmosferinde sputter ederek elde ettiler.

Fraser ve Melchior (1972) CdS filmlerini yine argon ve H₂S atmosferinde $5 \cdot 10^{-6}$ torr basıncında sputter yöntemi ile elde ettiler.

Burada Bujatti (1968) ve Beecham (1970) tarafından geliştirilen sistemler kayda değer. Bujatti tarafından geliştirilen sistemde içinde CdS bulunan potadan ibaret buharlaştırma kaynağı Molibden bir ısıtıcının radyasyonları ile

ısıtılmaktadır. Isıtıcının dışına yerleştirilmiş levhaların hareketi ile sıcaklık dağılımı kuvartz kaynak boyunca değiştirilebilir. Cam taşıyıcı iç kısımda bulunan ikinci bir cam tüp üstüne konur. Bu sistemde filmler hazırlanmadan evvel, farklı ocak sıcaklıkları ile farklı kaynak-taşıyıcı mesafeleri için sıcaklık dağılımı ve farklı noktaların dengeye erişebilmesi için sıcaklık-zaman bağlılığı incelenir. Elde edilen değerler vasıtası ile farklı kaynak ve taşıyıcı sıcaklıkları ayarlanarak çalışılabilir.

Beecham (1970) tarafından geliştirilen Cd/S izometral kaynak sisteminde ise 420°C 'deki kaynak sıcaklığında 300°A/s lik birikim aralığında, fused quartz taşıyıcılar üzerine $4-10\mu$ kalınlığında CdS filmleri elde edildi.

II.2 - KİMYASAL YÖNTEMLER :

II-VI bileşikleri ağır metallerin tuz çözeltileri ile tiyoüre, selenüre gibi maddelerin uygun bir pH değerinde ve sıcaklıkta etkileşmesi ile hasıl olur. Bu şekilde hazırlanmış karışım ya sıcak taşıyıcıya püskürtülür (spray yöntemi), ya da taşıyıcı doğrudan banyo içine daldırılır. Bu yöntem kimyasal banyo birikimi yöntemi (chemical bath deposition process) adı verilir.

II.2.a - Püskürtme Yöntemi

Bu yöntemi 1964'de 971,017 sayılı İngiliz patenti ile görüyoruz.

1974'de Chen-ho Wu ve Bube $CdCl_2$ ve tiyoüre çözeltisini $450^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtılmış taşıyıcıya püskürterek CdS filmleri elde ettiler.

Mao, Huang, Sung, Chang ve Chiue (1978) de CdS filmlerini $240^{\circ}C$ 'deki taşıyıcı üzerine, dakikada 10 ml. hızla, püskürterek oluşturdular.

II.2.b - Kimyasal Banyo Birikimi Yöntemi

Daha önce de bahsedildiği gibi bu yöntemde taşıyıcı banyo içine daldırılır.

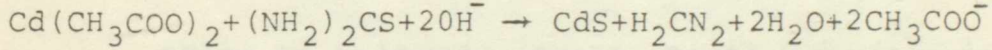
Sinha ve Sathaye (1976) ayrı ayrı kaplarda Cd tuzu ve H_2S çözeltisini hazırlayarak bunları kapalı bir yerde bıraktılar. Taşıyıcıyı Cd tuzu çözeltisinin içine batırıp sıvı yüzeyine paralel olarak ağır ağır yukarı çektiler. Taşıyıcı çözelti yüzeyine geldiğinde H_2S ile etkileşti. Böylece çözelti, gaz arabölgesinde CdS filmleri elde ettiler.

Nagao ve Watanabe (1968) çözeltilerini, $Cd(NO_3)_2$, NaOH ve NH_4NO_3 ile birlikte $Cd(NO_3)_2$ 'la aynı mol'deki tiyoüreyi deiyonize suda ve devamlı karıştırarak elde ettiler. NH_4NO_3 miktarını değiştirerek pH'sı 7,8 - 13,5 aralığında çözeltiler oluşturdular. Bu çözelti içine daldırdıkları cam taşıyıcı ve ZnS kristallerini bir kaç saat çözelti içine bırakarak $\sim 1,2 \mu$ kalınlığında filmler elde ettiler.

Teze konu olan kimyasal banyo birikimi yönteminde ise bir Cd tuzu, tiyoüre ve NH₃ çözeltileri karıştırılmakta ve diğer yöntemlere oranla nispeten düşük bir sıcaklıkta (~90°C) CdS filmleri elde edilebilmektedir.

Kimyasal banyo yönteminin büyüme kinetikleri en etraflı olarak Kaur, Pandya ve Chopra (1980) tarafından incelenmiştir.

Araştırmacılar Cd tuzu olarak kadmiyum asetat kullandılar ve reaksiyon denklemini aşağıdaki gibi verdiler :



Adı geçen çalışmada NH₃ miktarının film kalınlığı ve yapısı için önemli bir etken olduğu gözlemlendi.

Eğer NH₃ çözeltisi, çözeltide oluşan Cd(OH)₂'i eritmeye yetmeyecek miktarda ise bu durumda çözeltide Cd(OH)₂'nin ince bir süspansiyonu bulunur. Elde edilen filmlerin kalınlığı çözeltilinin pH'sına bağlıdır. pH 10,8'den 11,8 arttıkça kalınlık ~200 Å'a kadar değişir. Filmlerin bu saturasyon kalınlığına erişme süreleri ise 6-14 dakika gibi kısa bir süredir.

NH₃ çözeltisi, çözeltide oluşan Cd(OH)₂'in tamamını eritecek miktarda ise, bu durumda çözelti çok berraktır ve pH'sı 11,7'den 12,6'ya doğru arttıkça film kalınlığı da

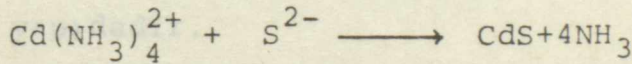
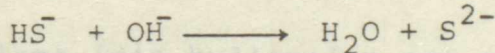
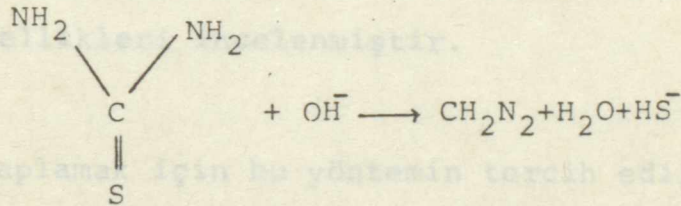
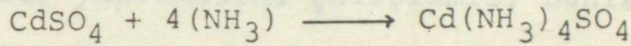
1 μm 'den 5,5 μm 'ya kadar artar. Bu halde satürasyon kalınlığına erişme zamanı 20 dakikadan başlayarak artar. Kaur, Pandya ve Chopra (1980) yaptıkları çalışmada kalınlığın banyo sıcaklığına bağlı olarak değişmesini de incelediler. Banyo sıcaklığı 28°C 'den 65°C 'ye doğru arttıkça satürasyon kalınlığı 2,7 μm 'den 1,2 μm 'ye, satürasyon zamanı da 80 dakikadan 10 dakikaya kadar düşmektedir. Kalınlık tiyoürenin konsantrasyonuna da bağlıdır ve en büyük değerini 0,1 M tiyoüre halinde almaktadır.

Bütün bu hallerde çözelti hızla karıştırılıyorsa (karıştırma hızı verilmemiş) filmler $\sim 500 \text{ \AA}$ kalınlığında olmaktadır. Karıştırma işlemi filmlerin yapısını da değiştirmektedir. İlk halde yani az NH_3 ile çalışıldığı halde, çözelti karıştırılmadan kübik ve hex. kristalitlerden oluştuğu, NH_3 miktarı çok olduğunda çözelti karıştırılmadan elde edilen filmlerin yapısının kübik, karıştırıldığında ise hexagonal ve kübik fazlardan hasıl olduğu gözlemlendi.

Pavaskar, Menezes, Sinha (1977) Bargale, Shikalgar, Pawar (1978,1979) ve Shikalgar, Pawar (1979, 1979, 1979) Shikalgar Bargale, Pawar (1977) sırasıyla saf CdS ve Ag, Cu, In ve Zn katkılı CdS:Na, CdS:Li ve yine CdS:Li filmlerini kimyasal banyo yöntemi ile kaplayarak değişik özelliklerini incelediler. Adı geçen araştırmacılar başlangıç malzemesi olarak

CdSO₄ tuzu kullandılar. Yaklaşık 90°C banyo sıcaklığında 125 devir/dak.'lık karıştırma hızında 30 dakikada filmlerini kaplayarak 10 µm kalınlığında filmler elde ettiler. Filmlerini katkılıandırmak için reaksiyon kabına belirli bir oranda Na veya Li tuzu ilave etmenin yeterli olduğunu belirttiler.

Araştırmacılar CdS'ün oluşumu ile ilgili reaksiyonu şöyle açıkladılar: 90°C'lik banyo sıcaklığında tiyoüre alkali ortamda kükürt iyonu meydana getirmekte, bu iyon da reaksiyon neticesinde CdS hasıl etmektedir. Reaksiyon denklemi:



şeklinde dir.

Bu yöntemde CdS filmleri elde eden ilk grup araştırmacının kullandıkları sette taşıyıcılar sabit durmakta, çözeltili bir magnetik karıştırıcı ile karıştırılmaktadır.

İkinci grup araştırıcıların setinde ise dört taşıyıcı yatay bir eksen üzerinde çözeltili yüzeyinin $\sim 2,5$ cm altında bulunmakta ve yaklaşık 125 devir/dak.'lık hızla döndürülmektedir.

Bu çalışmada ise, taşıyıcılar sabit durmakta, çözeltili magnetik bir karıştırıcı ile ~ 100 devir/dak. hızla karıştırılmaktadır. Cd tuzu olarak $CdSO_4$ kullanılmıştır.

Çalışmada büyüme kinetikleri incelenmemiş, düzgün tekrarlanabilir, geçirgenlik ölçmelerine uygun düşecek kalınlıkta filmler yapılmasına çalışılmış, bunlar elde edildikten sonra filmler havada değişik sıcaklıklarda tavlanaarak optik özellikleri incelenmiştir.

CdS kaplamak için bu yöntemin tercih edilmesinin nedenleri şöyle sıralanabilir:

1) Kaplama için kullanılan set çok basit, kolayca taşınabilir bir yapıdadır.

2) CdS ($\sim 70-90^\circ C$) sıcaklık aralığında elde edilebilmektedir. Bu sıcaklıkta çok çeşitli taşıyıcı malzemesi bozulmadan kullanılabilir.

3) Aynı anda pek çok örnek hazırlanabilir.

4) Karmaşık şekiller bile kolaylıkla kaplanabilir.

5) Çözeltideki bileşenlerin konsantrasyonları ayarlanarak, hasil olan maddenin stökiyometrisinin kontrolü kolay-

6) Katkı (=impruty) maddelerinin ilavesi ve miktarını ayarlamak çok kolaydır.

Buna karşılık bu kaplama şeklinde :

1) Reaksiyon kinetiklerinin izahı çok karmaşık ve çok zordur.

2) Birikim sırasında zehirli veya patlayıcı gazlar oluşabilir.

3) Taşıyıcıyı maskeleye zorluğu vardır.

1. Kristal titreşimlerinin absorpsiyonu,

2. Serbest taşıyıcıların ışık absorpsiyonu,

3. Katkı seviyeleri arasındaki geçişler,

4. Valens bandından (V.B.) katkı seviyelerine geçişler,

5. Yasak band aralığı içinde bulunan ve elektronlar tarafından tetik edilen katkı seviyelerinden iletkenlik bandına (I.B.) geçişler,

6. Bandlar arası geçişler.

Yukarıdaki absorpsiyon olayları düşük enerjilerden yüksek enerjilere doğru sıralanmıştır. Bunlardan başka yarı iletken atomlarının X ışınları absorpsiyonu, eksiton absorpsiyonu ve elektron - boşluk damlacıklarının düşük foton enerjilerindeki absorpsiyonundan da bahsedilir.

Yarı iletken kristallerde en önde gelmiş absorpsiyon olayı valens bandından iletkenlik bandına geçen elektronların neden olacağı absorpsiyondur. Buna "Serbest Absorpsiyon" adı verilir.

III. YARI İLETKENLERDE OPTİK ABSORPSİYON

Bir yarı iletken üzerine ışık düşürüldüğünde ışığın bir kısmı yarı iletkendeki (Y.İ.) çeşitli temel etkileşmeler sonucu absorplanır. Bu etkileşme çeşitleri şöyle sıralanabilir:

1. Kristal titreşimlerinin absorpsiyonu,
2. Serbest taşıyıcıların ışık absorpsiyonu,
3. Katkı seviyeleri arasındaki geçişler,
4. Valens bandından (V.B.) katkı seviyelerine geçişler,
5. Yasak band aralığı içinde bulunan ve elektronlar tarafından işgal edilen katkı seviyelerinden iletkenlik bandına (İ.B.) geçişler,
6. Bandlar arası geçişler.

Yukarıdaki absorpsiyon olayları alçak enerjilerden yüksek enerjilere doğru sıralanmıştır. Bunlardan başka yarı iletken atomlarının X ışınları absorpsiyonu, eksiton absorpsiyonu ve elektron - boşluk damlacıklarının alçak foton enerjilerindeki absorpsiyonundan da bahsedilir.

Yarı iletken kristallerde en önde gelen absorpsiyon olayı valens bandından iletkenlik bandına geçen elektronların neden olacağı absorpsiyondur. Buna "Temel Absorpsiyon" adı verilir.

III.1 - TEMEL ABSORPSİYON :

Bir elektronun valens bandından iletkenlik bandını çıkabilmesi için, yasak band aralığına eşit veya ondan büyük enerjide foton absorplaması gerekir. Bu çeşit absorpsiyona temel absorpsiyon denir. Bandlar arası absorpsiyon band yapılarının özelliklerine göre sınıflandırılır. Valens bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına geçiş olasılığı da absorpsiyon olayında büyük rol oynar. Ayrıca valens bandındaki elektron konsantrasyonu n_v ile iletkenlik bandındaki boşluk seviye yoğunluğu n_i ne kadar büyük iseler, geçiş olasılığı da o kadar büyük olur. Bir formülle ifade edilirse α absorpsiyon katsayısı :

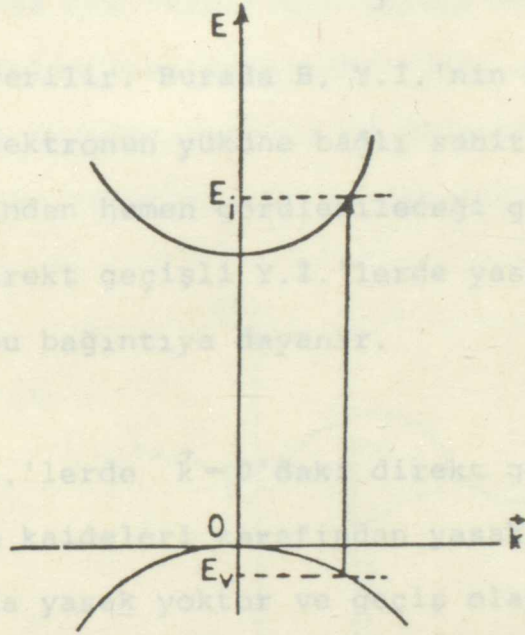
$$\alpha = A \cdot P_{vi} \cdot n_v \cdot n_i \quad (\text{III.1})$$

şeklinde yazılabilir. Burada A bir sabit, P_{vi} valens bandından iletkenlik bandına geçiş olasılığıdır.

III.1.a - Direkt geçişli yarı iletkenlerde optik absorpsiyon :

Direkt geçişli bir yarı iletken V.B.'nin maksimumu ile İ.B.'nin minimumu $\vec{k} = 0$ dadır. Bu durumda iletkenlik bandının enerjisi E_i ile valens bandının enerjisi E_v

arasındaki farka eşit enerjide bir foton absorplandığında V.B.'daki bir elektron I.B.'na geçer. $\vec{k}=0$ da genellikle enerji ve impulsu koruyan her geçiş müsaadelidir. Geçiş olasılığı da \vec{k} 'nın sabit kaldığı her bir geçiş için aynı değerde kalır. Şek.III.1 direkt müsaadeli bir optik geçişi göstermektedir.



Şek.III.1-Direkt müsaadeli optik geçiş

Valens bandının bir noktasından, aynı k değerinde I.B.'na geçiş olabilmesi için I.B.'nın bu k değerindeki seviye yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Bu da:

$$n_i = \frac{4\pi}{(2\pi)^3} \frac{(2m_r^*)^{3/2}}{\hbar^3} (h\nu - E_y)^{1/2} \quad (\text{III.2})$$

bağıntısı ile verilir. (Akpınar 1970,1977 ve Wooten 1972)

Burada m_r^* redüklenmiş kütle, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi, E_y yarı iletkenin yasak enerji aralığıdır.

I.B.'daki bütün seviyelerin boş, valens bandındaki tüm seviyelerin dolu olduğu durum için absorpsiyon katsayısı enerjiye bağlı olarak:

$$\alpha(h\nu) = B (h\nu - E_y)^{1/2} \quad (\text{III.3})$$

bağıntısı ile verilir. Burada B, Y.I.'nin kırılma indisine, ışık hızına, elektronun yüküne bağlı sabit bir katsayıdır. (III.3) ifadesinden hemen görülebileceği gibi $h\nu = E_y$ için $\alpha^2 = 0$ olur. Direkt geçişli Y.I.'lerde yasak band aralığının tayini metodu bu bağıntıya dayanır.

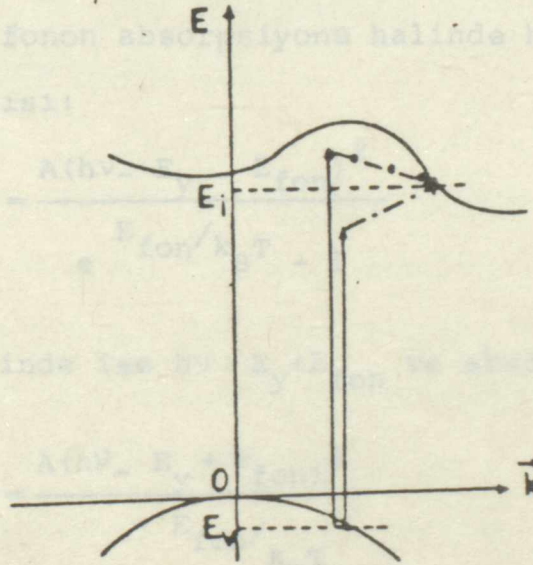
Bazı Y.I.'lerde $\vec{k} = 0$ 'daki direkt geçişler kuantum mekaniğin seçim kaideleri tarafından yasaklanmıştır. Bu durumda $\vec{k} \neq 0$ da yasak yoktur ve geçiş olasılığı P_{vi} , \vec{k} 'nin karesi ile orantılıdır. k^2 'nin de enerji ile orantılı olması dolayısı ile P_{vi} $h\nu - E_y$ ile orantılı olur. Seviye yoğunluğu ise yine $(h\nu - E_y)^{1/2}$ ile orantılı olduğundan, absorpsiyon katsayısı :

$$\alpha(h\nu) = C (h\nu - E_y)^{3/2} \quad (\text{III.4})$$

formülü ile verilir. Burada C elektron ve boşluğun efektif kütleleri, indis ve gelen fotonun enerjisine bağlı bir katsayıdır. Bu bağıntıdan da görüleceği gibi $\alpha^{2/3}$ 'yi sıfır yapan foton enerjisi değeri yasak enerji aralığını verir.

III.1.b - Indirekt geçişli yarı iletkenlerde optik absorpsiyon :

Indirekt Y.I.'lerde V.B.'nin maksimumu ile I.B.'nin minimumu aynı \vec{k} 'da değildir. Optik absorpsiyon geçişlerinde impuls korunum kanunlarına uyma zorunluluğu olduğundan, indirekt Y.I.'lerde her iki bandın elektronları arasındaki bir geçiş \vec{k} uzayında $\hbar\Delta k$ kadar bir impuls değişimi gerektirir. Bu da ancak foton absorpsiyonunun yanı sıra bir fonon (şebeke titreşimi) absorpsiyonu ya da emisyonu ile sağlanır. şek.III.2 indirekt geçişleri göstermektedir.



şek.III.2-İndirekt geçişler

--- Fonon absorpsiyonu

--- Fonon emisyonu

Fonon absorpsiyonunda:

$$h\nu = E_i - E_v - E_{\text{fon}} \quad (\text{III.5})$$

Fonon emisyonunda:

$$h\nu = E_i - E_v + E_{\text{fon}} \quad (\text{III.6})$$

eşitlikleri geçerlidir. Burada E_v elektronun valens bandındaki enerjisi, E_i iletkenlik bandındaki enerjisi, E_{fon} ise fonon enerjisidir.

İndirekt geçişlerde absorpsiyon katsayısı valens ve iletkenlik bandlarındaki seviye yoğunluklarından başka, fonon absorpsiyon veya emisyon olasılıklarına da bağlıdır. Fononlar spin kuantum sayıları sıfır olan bozon sayıldıklarından Bose-Einstein dağılım kanunu kullanılmalıdır. Tüm bunlar dikkate alınır; fonon absorpsiyonu halinde $h\nu > E_y - E_{\text{fon}}$ ve absorpsiyon katsayısı:

$$\alpha_a(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_y - E_{\text{fon}})^2}{e^{E_{\text{fon}}/k_B T} - 1} \quad (\text{III.7})$$

fonon emisyonu halinde ise $h\nu > E_y + E_{\text{fon}}$ ve absorpsiyon katsayısı :

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_y + E_{\text{fon}})^2}{1 - e^{-E_{\text{fon}}/k_B T}} \quad (\text{III.8})$$

şeklini alır.

$h\nu > E_y + E_{\text{fon}}$ halinde hem fonon absorpsiyonu hem de emisyonu olabilir. Şu halde $h\nu > E_y + E_{\text{fon}}$ için

$$\alpha(h\nu) = \alpha_a(h\nu) + \alpha_e(h\nu) \quad (\text{III.9})$$

olur.

Bu denklemlerden görüleceği gibi $\alpha^{1/2} = 0$ yapan değer için $h\nu$, $E_y - E_{\text{fon}}$ ve $E_y + E_{\text{fon}}$ değerleri bulunur. İndirekt geçişli Y.I.'lerde hem yasak band enerjisi hem de fonon enerjisi bundan yararlanılarak hesaplanır.

IV. DENEY

IV.1 - CBS FILMLERİNİN HAZIRLANMASI :

IV.1.a - Taşıyıcıların temizlenmesi :

İnce filmlerin hazırlanmasında önemli noktalardan biri taşıyıcıların temizlenmesidir. (Holland 1970) Bu çalışmada $3,3 \times 1,4 \times 0,1$ cm. boyutlarında kesilmiş mikroskop lamaları taşıyıcı olarak kullanıldı.

Lamalar, önce pamuğa emdirilmiş deterjanla ovalarak mekanik olarak temizlendi. Saf su ile iyice çalkalandıktan sonra, kimyasal temizliği, taze hazırlanmış kronik asit çözeltisinde yaklaşık bir saat bekletilerek yapıldı. Bundan sonra tekrar bol saf su ile üzerindeki suyun tamamını silme noktasına dikkat edilerek yıkandı ve etüvde kurutuldu.

IV.1.b - Kullanılan Dözenek :

Filmlerin hazırlanmasında kullanılan dözenek Şek. IV.1'de görülmektedir.

IV. DENEY

IV.1 - Cds FILMLERİNİN HAZIRLANMASI :

IV.1.a - Taşıyıcıların temizlenmesi :

İnce filmlerin hazırlanmasında önemli noktalardan biri taşıyıcıların temizlenmesidir. (Holland 1970) Bu çalışmada 3,3 x 1,4 x 0,1 cm. boyutlarında kesilmiş mikroskop lamaları taşıyıcı olarak kullanıldı.

Lamlar, önce pamuğa emdirilmiş deterjanla ovularak mekanik olarak temizlendi. Saf su ile iyice çalkalandıktan sonra, kimyasal temizliği, taze hazırlanmış kromik asit çözeltisinde yaklaşık bir saat bekletilerek yapıldı. Bundan sonra tekrar bol saf su ile üzerindeki suyun tamamen akmasına dikkat edilerek yıkandı ve etüvde kurutuldu.

IV.1.b - Kullanılan düzenek :

Filmlerin hazırlanmasında kullanılan düzenek Şek.IV.1'de görülmektedir.

IV.1.c - Örneklerin hazırlanması :

Örneklerin hazırlanmasında J.T. Baker Chemical Co.

firmasından alınan saf $CaCl_2$, H_2O ve 99 saflıkta tiyo-

üre'si ve Merck firmasından 25 mm çapında 99 saflıkta kullanılan,

20 cc, $1M$ $CaCl_2$ çözeltisi, 25 cc tiyüre ve 100 cc, $2M$ sük-

rik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden

10 cc tiyüre ve amonyak çözeltisi alınarak, içinde temizlenmiş to-

zulu bulunan beher içine konularak, 100 devir/

dak.'lık karıştırma hızında ve $30^{\circ}C$ 'lık sıcaklık aralığında

da $45^{\circ}C$ 'a kadar ısıtıldı. Bu sıcaklıkta karışına kadmiyum

Şek.IV.1 - Örneklerin hazırlanmasında kullanılan düzenek.

t_m : termometre, f: cam fanus, b: beher, t: taşıyıcı, t_f : teflon tutucu, k: karıştırıcı, m: sıcak tablalı magnetik karıştırıcı.

Sıcak tablalı magnetik karıştırıcı Nüve firmasının

MK118 tipi, sıcaklığı $0-250^{\circ}C$ ve karıştırma hızı $80-1200$ de-

vir/dak. arasında değişebilen bir karıştırıcısıdır. Çözelti-

nin bulunduğu beherin hacmi 200 cc'di. Taşıyıcılar teflondan

hazırlanmış bir düzenek üzerine tutturuldu. Aynı anda $3,3 \times$

$1,4 \times 0,1$ cm. boyutlarında oniki taşıyıcıyı kaplama olanağı

vardı. Kullanılan termometre $0,1^{\circ}C$ aralığını gösterebiliyor-

du. Beherin boyutlarının küçük olması nedeni ile yan çeper -

ler ayrıca izole edilmedi.

ikincisinde ise maddenin büyük kısmı tablo altına toplanarak

karışır. Bu deneyde en uygun karıştırma hızının 100 devir/dak.

IV.1.c - Örneklerin hazırlanması :

Örneklerin hazırlanmasında J.T. Baker Chemical Co. firmasından alınmış saf $CdSO_4$, Riedel'in %99 saflıkta tiyoüre'si ve Merck firmasının %25'lik amonyağı kullanıldı.

20 cc. 1M $CdSO_4$, 20 cc. 1M tiyoüre ve 100 cc. 2M amonyak çözeltisi hazırlandı. Taze hazırlanmış bu çözeltilerden tiyoüre ve amonyak oda sıcaklığında, içinde temizlenmiş taşıyıcıları bulunan beher içine kondu. Bu karışım 100 devir/dak.'lık karıştırma hızında ve $3^{\circ}C/dak.$ 'lık ısınma aralığında $45^{\circ}C$ 'a kadar ısıtıldı. Bu sıcaklıkta karışıma kadmiyum sülfat çözeltisi katıldı. Isıtma işlemine sıcaklık $90^{\circ}C$ 'ye varıncaya kadar devam edildi. $90 \pm 2^{\circ}C$ da 10,20,30,45,60 dakikada kaplamalar yapıldı. Çözeltinin karıştırıldığı bu zaman aralığında 150-500 nm. kalınlığında CdS filmleri elde edildi.

Örneklerin hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar :

Örnekler hazırlanırken muhakkak saf malzemeler kullanmak gerekmektedir. Eğer saf malzemeler kullanılmazsa kaplama olmamaktadır.

Her kaplama için taze çözelti hazırlamak gereklidir.

Çözelti çok hızlı veya çok yavaş karıştırılırsa homojen kaplı bir CdS filmi elde edilememektedir. İlkinde çözelti hızlı karıştığından taşıyıcı üzerinde birikim az olmakta, ikincisinde ise maddenin büyük kısmı kabın dibine toplanmaktadır. Bu deneyde en uygun karıştırma hızının 100 devir/dak.

olduğu görüldü.

Kaplamalar yapılırken kaba önce temiz taşıyıcılar yerleştirildi. Sonra çözeltiyi teşkil eden bileşenlerin kaba konma sıraları değiştirildi. Literatürde her ne kadar önce $CdSO_4$ ve NH_3 karıştırılır sonra tiyoüre çözeltisi ilave ediliyorsa da (Bargale, Shikalgar, Pawar 1977, 1979; Shikalgar, Pawar 1979) bu çalışmada en iyi kaplamaların amonyakla tiyoüre çözeltisinin kaba ilavesinden sonra $45^{\circ}C$ 'da $CdSO_4$ ilavesi ile oluştuğu gözlemlendi. Bu durumda önce bazik ortamda tiyoüre ile S iyonu oluşmakta, $CdSO_4$ çözeltisi ilave edilince hemen CdS oluşmaktadır. Bu; $CdSO_4$ 'ın katılmasıyla birkaç dakikada görülen CdS'ün karakteristik portakal sarısı renginden de anlaşılmaktadır.

Ayrıca çalışmada CdS'ün oluşması sırasında taşıyıcıların çözeltinin içinde bulunması gerektiği de gözlenmiştir. CdS oluştuktan sonra çözelti içine konulan taşıyıcılar kaplanmamaktadır. Bu olay tıpkı kristalleşme olayındaki çekirdekleşmeye benzemektedir. Eğer CdS henüz oluşurken taşıyıcı çözeltinin içinde ise, kristalleşmeye çekirdek görevi görmekte ve kaplanmakta, aksi halde kaplama yapılamamaktadır.

IV.1.d - Örneklerin tavlama :

Bölüm IV.1.c'de anlatılan şekilde $90^{\circ}C$ 'de 30 dakikada kaplanan örnekler havada $90, 100, 150, 200, 250$ ve $350^{\circ}C$ 'de bir saat süre ile tavlандılar. Daha sonra bu örnekler hızlı ve yavaş soğumaya bırakıldı. Hızlı soğutulan örnekler tavlama

süresinin sonunda birden oda sıcaklığına çıkarıldı, yavaş soğutulan örneklerse tavlama süresi sonunda, kendi fırınının içinde, fırının voltajı kesilerek soğumaya bırakıldı. Soğuma hızı düşük sıcaklıklar için $0,8^{\circ}\text{C}/\text{dak.}$ iken yüksek sıcaklıklar için $2,5 - 3,5^{\circ}\text{C}/\text{dak.}$ oldu.

Bu örneklerin optik geçirgenlikleri, tavlannmamış örneğe ve soğuma şekline göre ilginç değişimler gösterdi.

IV.2 - ÖLÇMELER :

IV.2.a - Geçirgenlik ölçmeleri :

Geçirgenlik ölçmeleri 200-900 nm. aralığında ölçü yapabilen Hitachi 220A tipi, bilgisayar kontrollü bir spektrofotometre ile yapıldı. Aletin fant açıklığı 2.0 nm. idi. Eğriler 20nm/cm aralığında, ekran hızı 60nm/dak. olan bir yazıcı ile alındı. Nümerik değerler de 10 nm. aralıklarla printer'e yazdırıldı. Cam taşıyıcıların ultraviyole bölgedeki absorpsiyonu nedeni ile ölçümler 400-900 nm. aralığında alındı.

IV.2.b - Yapı analizi ölçmeleri :

Örneklerin yapılarına 40 kV ve 20 mA ile çalıştırılan Cu(Ni) K α kaynaklı, Philips firmasının X ışınları difraktometresi ile bakıldı. Aletin verdiği X ışınının dalga boyu $1,54050 \text{ \AA}$ dü.

IV.2.c - Film kalınlığının ölçülmesi :

Film kalınlığının ölçülmesinde Hilger ve Watt firmasının interferometresi kullanıldı. Interferometre Tolansky Yöntemi (Heavens, 1955) ile çalışmakta ve $\pm 50 \text{ \AA}$ hassaslıkla ölçebilmektedir. Kalınlığın ölçüleceği kanal, sonradan özel bir kalemle film çizilerek elde edildi ve yüzey aliminyum ile kaplandı. Ancak kaplamadan bir süre sonra (yaklaşık 2 gün) aliminyum'un yüzeyden yok olduğu, büyük bir olasılıkla Cds içine diffüze olduğu gözlemlendi. Bu nedenle ölçmeler Aliminyum kaplama yapıldıktan hemen sonra yapıldı. Ayrıca geçirgenlik değerlerinden yararlanılarak ve mümerik analiz yöntemi kullanılarak kalınlık değerleri saptandı, ölçülen değerler kontrol edildi.

IV.2.d - Taşıyıcının kırılma indisinin ölçülmesi :

Taşıyıcının kırılma indisi beyaz ışıkla aydınlatılan bir mikroskopla, izafi yükseltme miktarı ölçülerek 1,52 olarak belirlendi.

Şek. V, 1 90°C banyo sıcaklığında 10, 20, 30, 45 ve 60 dakikada kaplanan örneklerde optik geçirgenliğin dalga boyuna bağlılığını göstermektedir. Bu eğride görülen ekstremalar interferens etkileri ile açıklanabilir ve bu değerlerden filmlerin kırılma indislerini tayin etmek mümkündür.

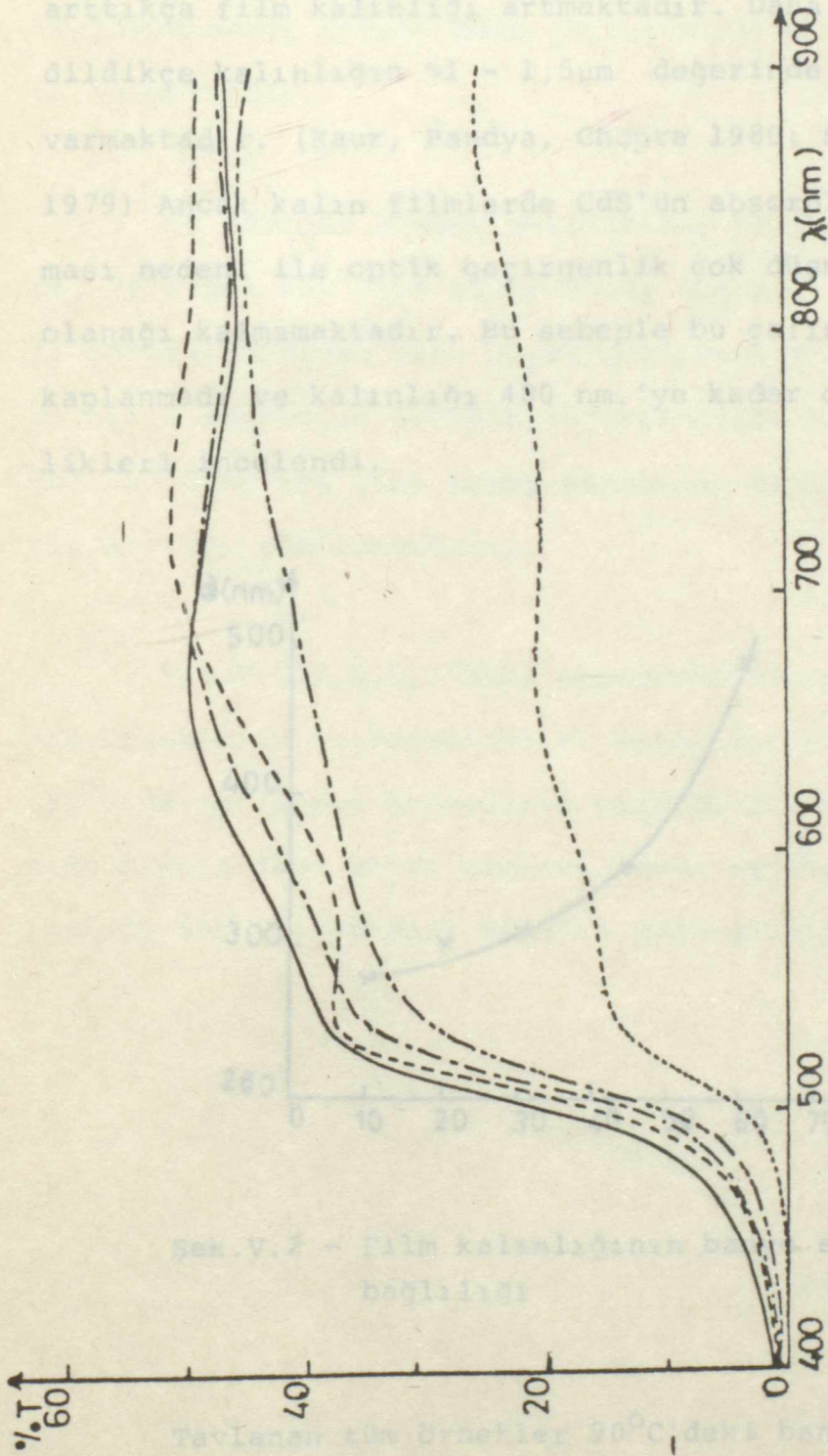
V. SONUÇLAR

V.1 - ÖLÇÜLEN DEĞERLER

Çalışmada hazırlanan her örneğin geçirgenliği, 400 - 900 nm. dalga boyu aralığı için spektrofotometrenin kaydedicisine (recorder) çizdirildi ve optik geçirgenlik katsayısı değerleri de yazıcısına (printer) yazdırıldı. Bu eğriler Ek:I'de, indis ve söndürme indisinin hesaplanmasında kullanılan geçirgenlik katsayısı değerleri de Ek:II'de verilmiştir.

Tezde görülen şekiller, Ek:I'de görülen şekiller üzerinden mukayeseli olarak nokta nokta kopya edilmiş ve fotokopi ile küçültülmüştür. Tezdeki her şeklin altında, o şeklin Ek:I'deki karşılığı belirtilmiştir.

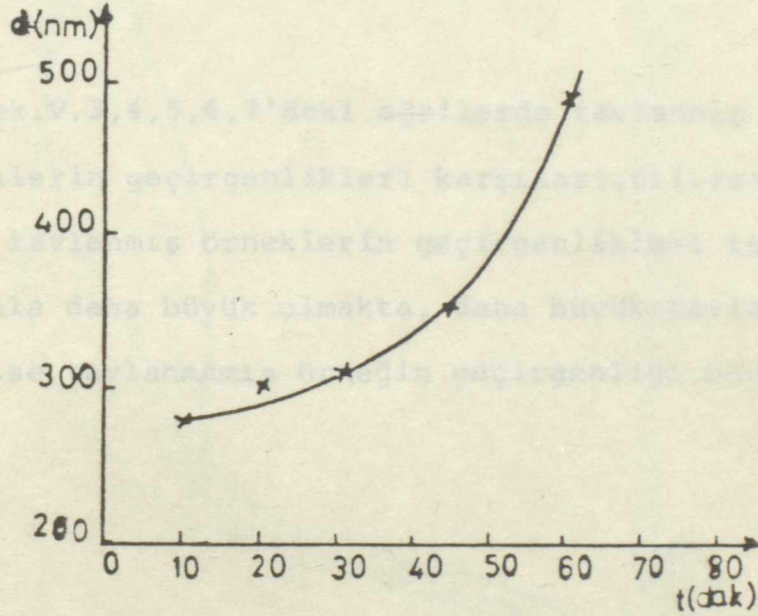
Şek.V.1 90°C banyo sıcaklığında 10,20,30,45 ve 60 dakikada kaplanan örneklerde optik geçirgenliğin dalga boyuna bağlılığını göstermektedir. Bu eğride görülen ekstremumlar interferens etkileri ile açıklanabilir ve bu değerlerden filmlerin kırılma indislerini tayin etmek mümkündür.



Şek.V.1.1 - 90°C banyo sıcaklığında çeşitli sürelerde kaplanmış örneklerin geçirgenlik-dalga boyu eğrileri — 10 dak.(Ek:I-2 a) ---- 20 dak. (Ek:I-2 b), -.-.-30 dak.(Ek:I-1 a),-.-.-.-45 dak.(Ek:I-1 b), ----- 60 dak.(Ek:I-1 c)

Çalışmada tüm ölçmeler oda sıcaklığında yapılmıştır.

Şek.V.2 film kalınlığının banyo süresine bağılı olarak değişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi banyo süresi arttıkça film kalınlığı artmaktadır. Daha uzun sürelere gıldikçe kalınlığın $\sim 1,5\mu\text{m}$ değerinde eğri bir doyuma varmaktadır. (Kaur, Pandya, Chopra 1980; Shikalgar, Pawar 1979) Ancak kalın filmlerde CdS'ün absorplayıcı bir madde olması nedeni ile optik geçirgenlik çok düşmekte ve ölçü yapma olanağı kalmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada kalın filmler kaplanmadı ve kalınlığı 480 nm.'ye kadar olan filmlerin özellikleri incelendi.



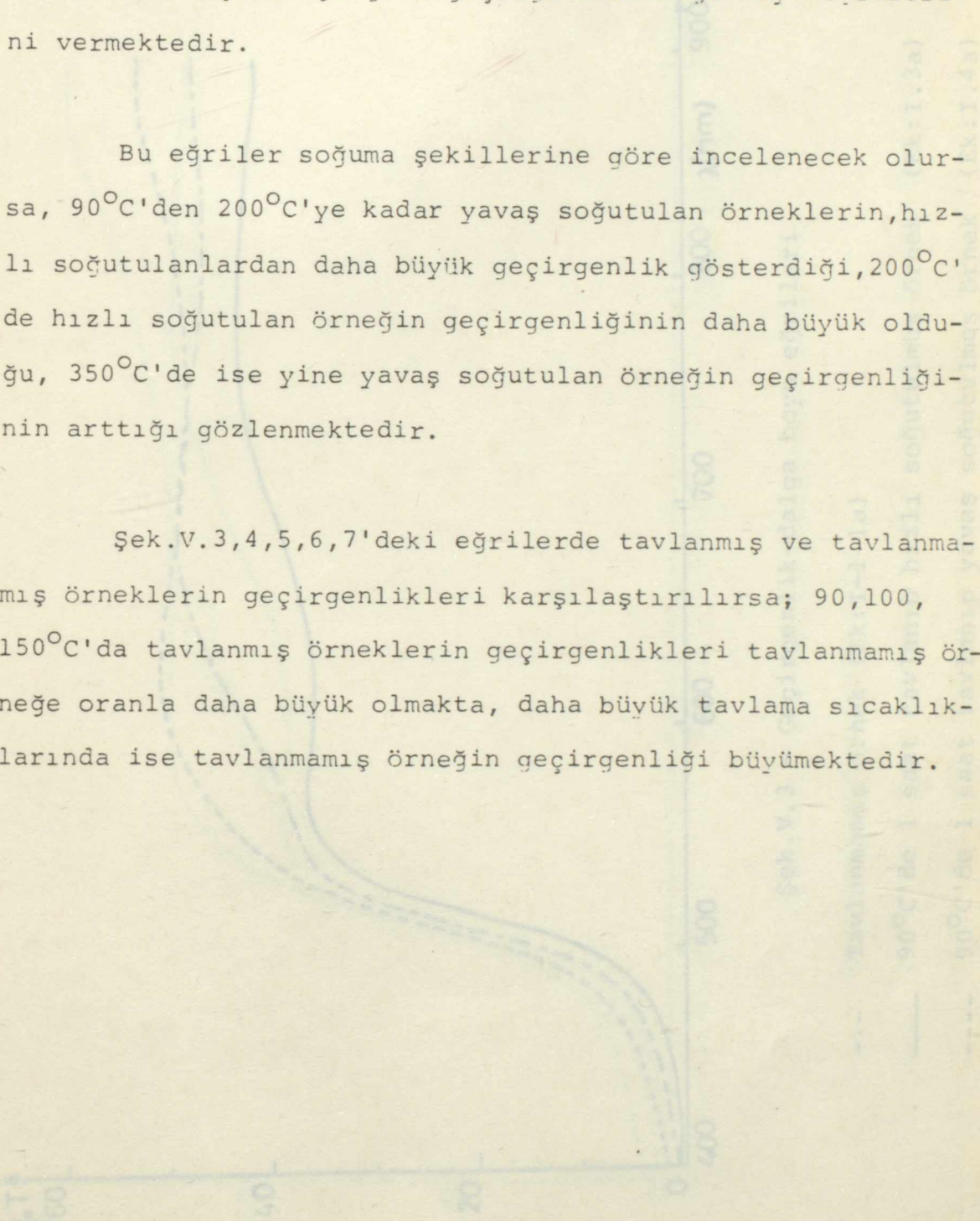
Şek.V.2 - Film kalınlığının banyo süresine bağılılığı

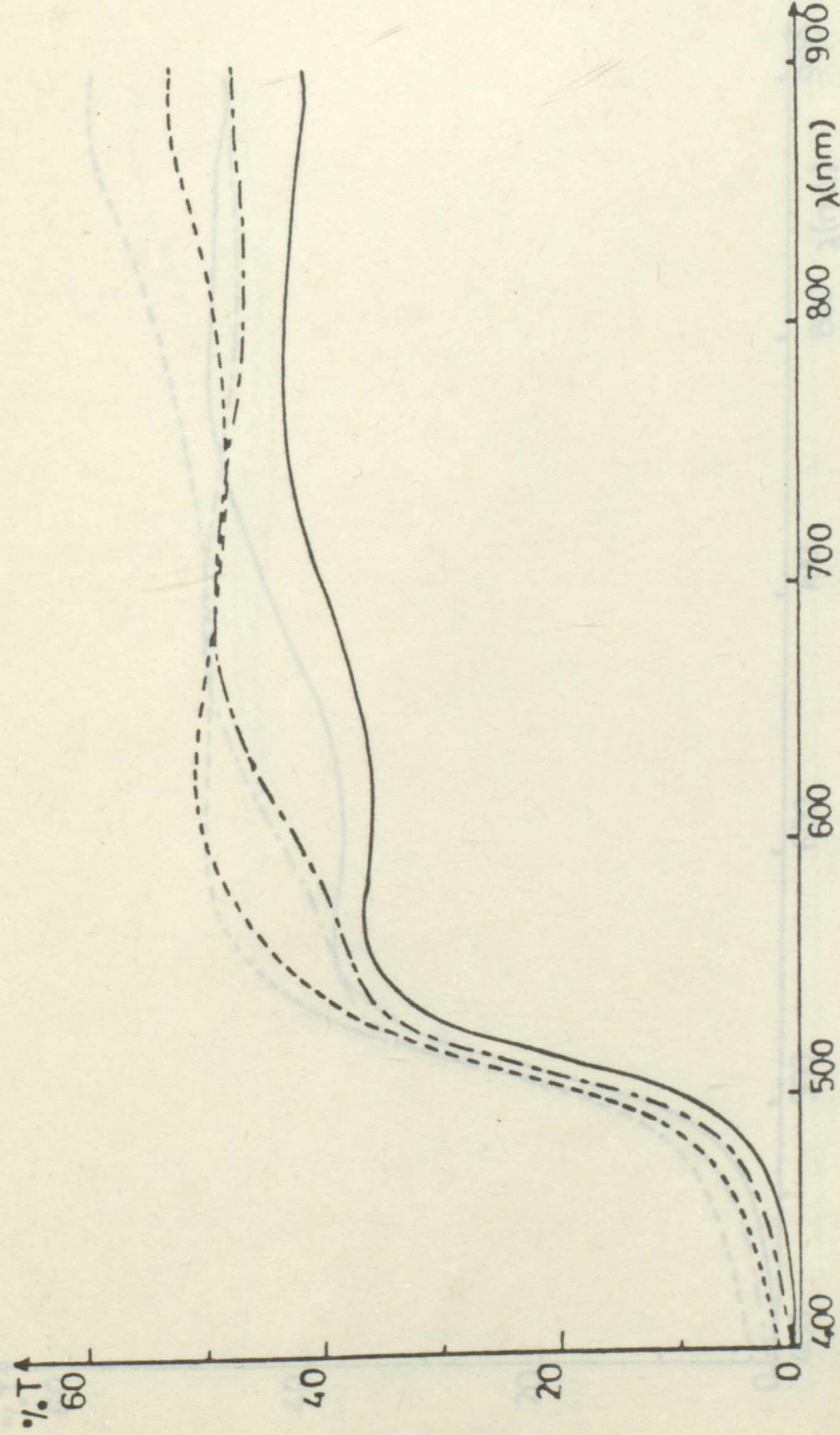
Tavlanan tüm örnekler 90°C 'deki banyo sıcaklığında 30 dakika kaplandı ve kalınlıkları 3100 \AA olarak okundu.

Şek.V.3, 4,5,6,7 eğrileri sırasıyla 90,100,150,200 ve 350°C'da 1 saat tavllanmış örneklerin soğuma şekillerine ve tavlannmamış örneğe göre geçirgenlik-dalga boyu eğrilerini vermektedir.

Bu eğriler soğuma şekillerine göre incelenecek olursa, 90°C'den 200°C'ye kadar yavaş soğutulan örneklerin, hızlı soğutulanlardan daha büyük geçirgenlik gösterdiği, 200°C'de hızlı soğutulan örneğin geçirgenliğinin daha büyük olduğu, 350°C'de ise yine yavaş soğutulan örneğin geçirgenliğinin arttığı gözlenmektedir.

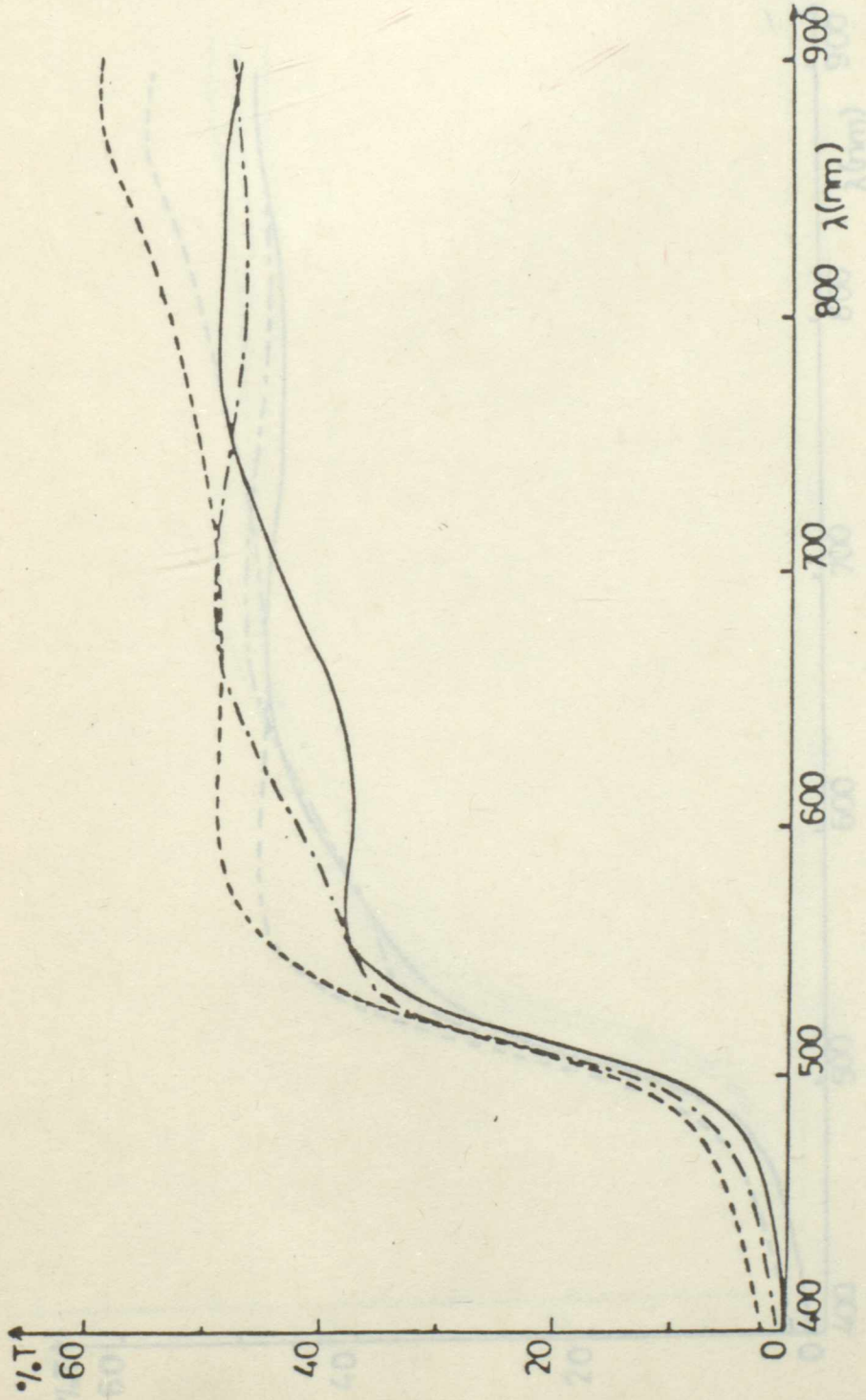
Şek.V.3,4,5,6,7'deki eğrilerde tavlannmış ve tavlannmamış örneklerin geçirgenlikleri karşılaştırılırsa; 90,100, 150°C'da tavlannmış örneklerin geçirgenlikleri tavlannmamış örneğe oranla daha büyük olmakta, daha büyük tavlama sıcaklıklarında ise tavlannmamış örneğin geçirgenliği büyümektedir.





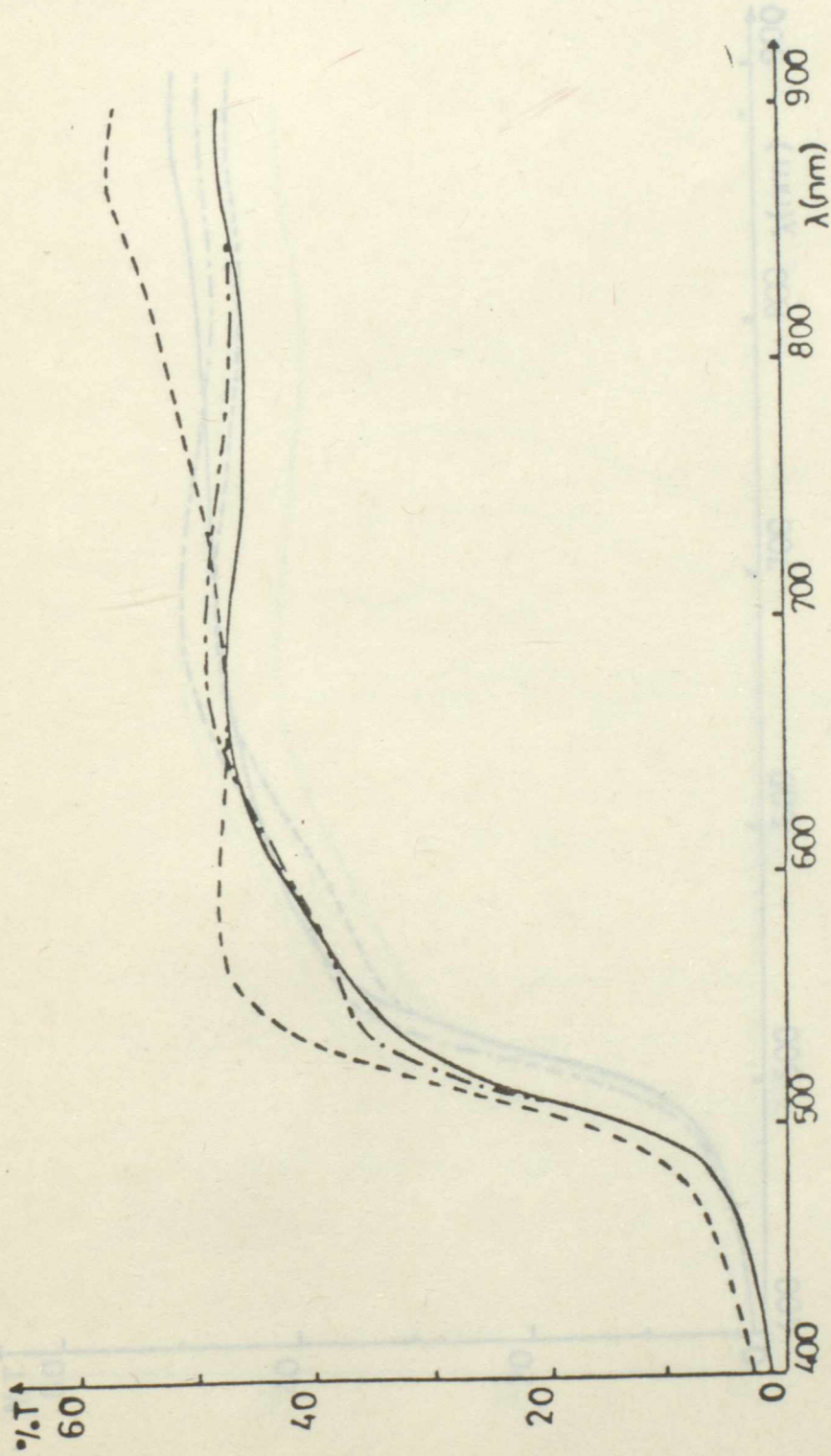
Şek.V.3 - Geçirgenlik-dalga boyu eğrileri

- Tavlanmamış örnek (Ek:I-1-1a)
- 90°C'de 1 saat tavlama ve soğutulmuş örnek (Ek:I.3a)
- .-.- 90°C'de 1 saat tavlama ve soğutulmuş örnek (Ek:I.4a)



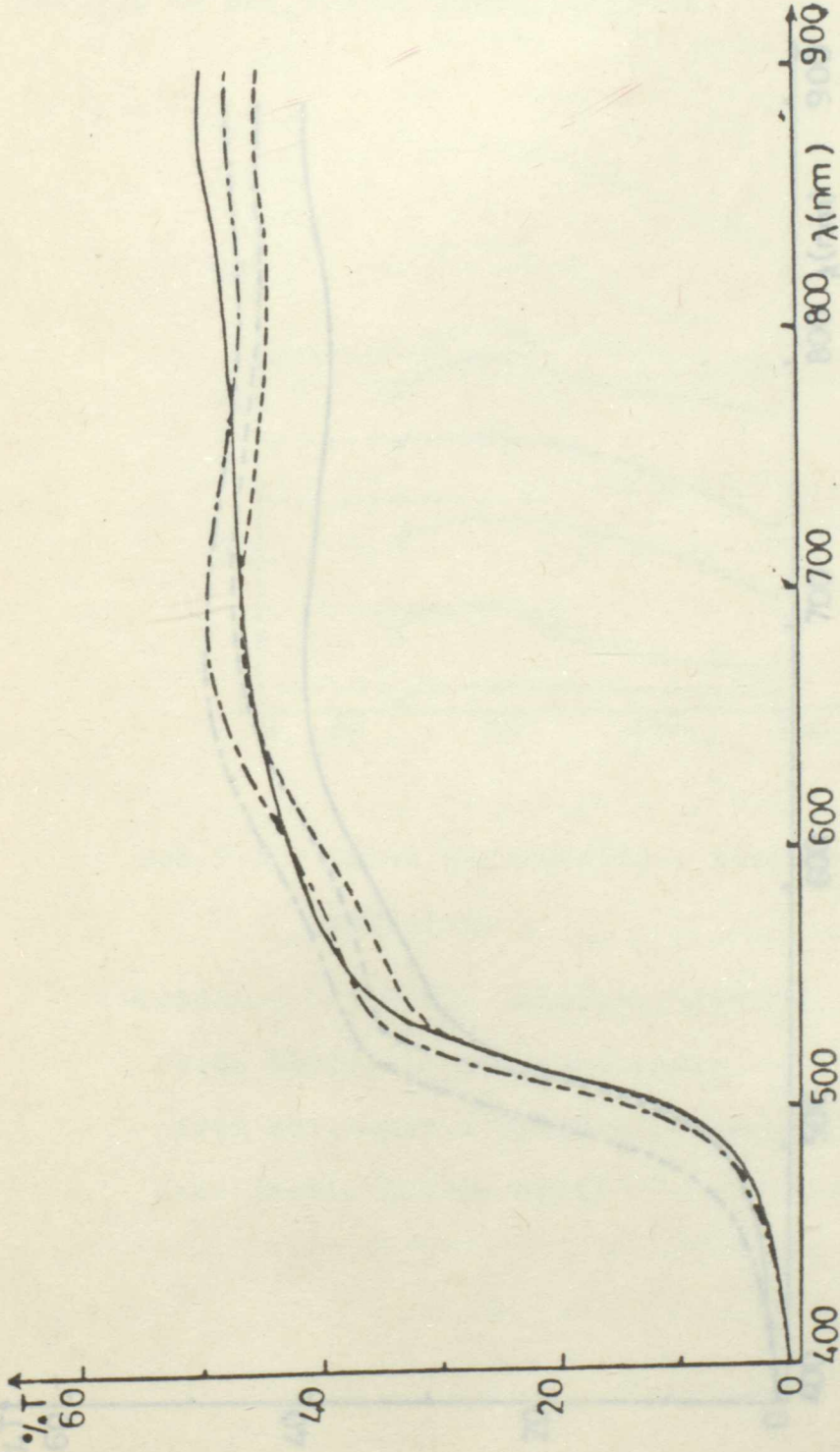
Şek.V.4 - Geçirgenlik-dalga boyu eğrileri

- Tavlanmamış örnek (Ek:I-1a)
- 100°C'de 1 saat tavlama hızlı soğutulan örnek (Ek:I-1d)
- .-. 100°C'de 1 saat tavlama yavaş soğutulan örnek (Ek:I-5a)



Şek.V.5 - Geçirgenlik-dalga boyu eğrileri

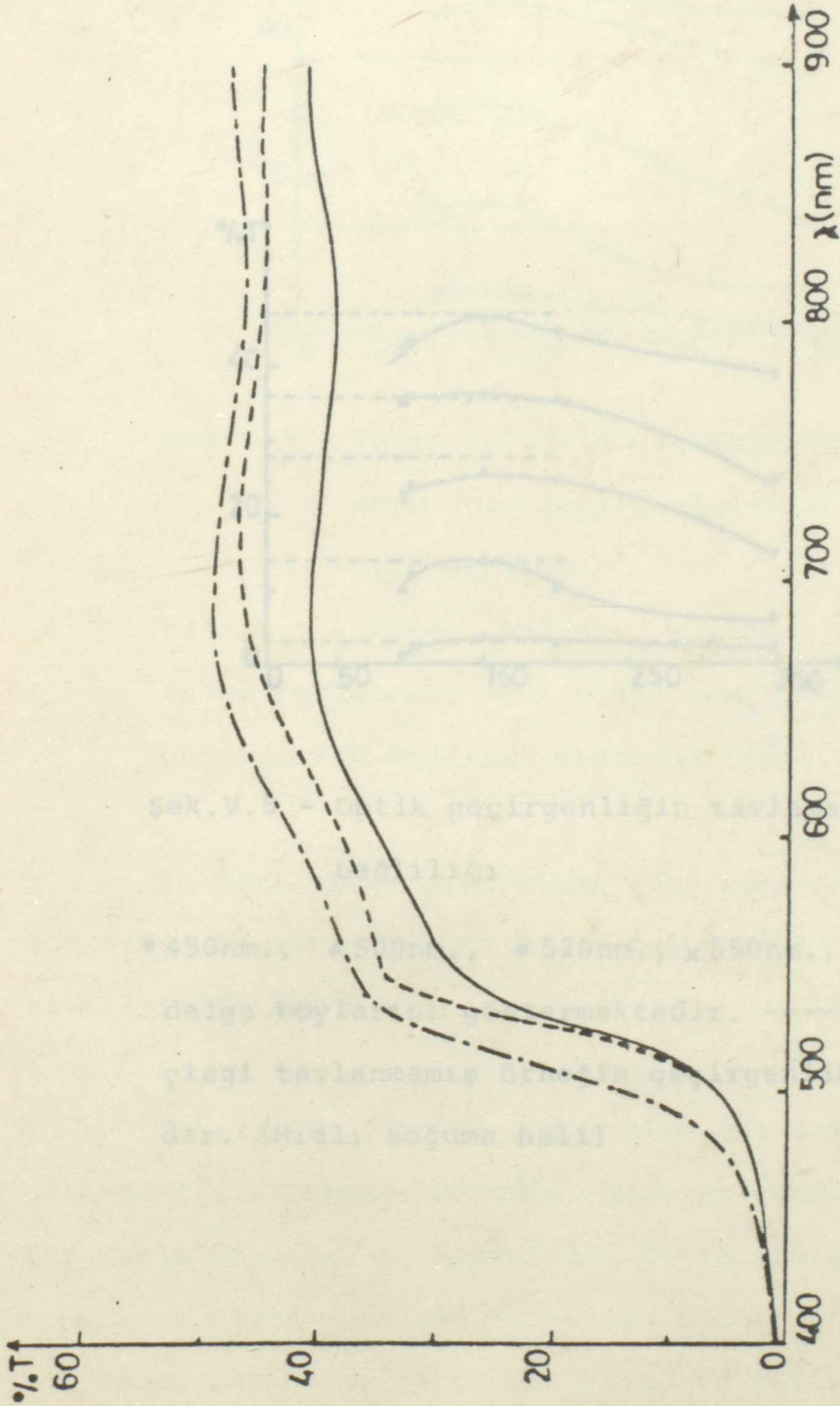
- .-.- Tavlanmamış örnek (Ek:I-1a)
- 150°C'de 1 saat tavlama hızlı soğutulan örnek (Ek:I-5b)
- .-.- 150°C'de 1 saat tavlama yavaş soğutulan örnek (Ek:I-5c)



Şek.V.6 - Ceçirgenlik-dalga boyu eğrileri

- Tavlanmamış örnek (Ek:I-1a)
- 200°C'de 1 saat tavlama hızlı soğutulan örnek (Ek:I-3b)
- .- 200°C'de 1 saat tavlama yavaş soğutulan örnek (Ek:I-4b)

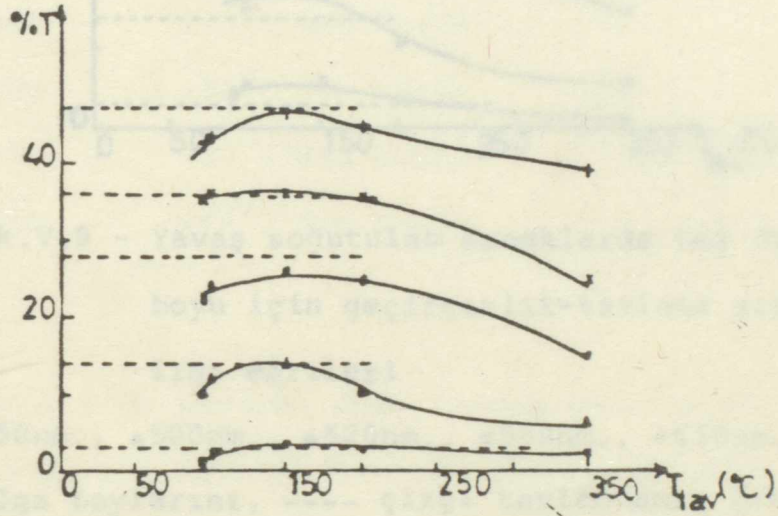
Optik geçirgenlik katsayısının tavlama sıcaklığına bağlılığı hızlı ve yavaş soğuma şekli ve ışık dalga boyu için Şek.V.8 ve Şek.V.9'da gösterilmiştir.



Şek.V.7 - Geçirgenlik-dalga boyu eğrileri

- Tavlannamış örnek (Ek:I-la)
- 350°C'de 1 saat tavlaniıp hızlı soğutulan örnek (Ek:I-11d)
- .-.- 350°C'de 1 saat tavlaniıp yavaş soğutulan örnek (Ek:I-11c)

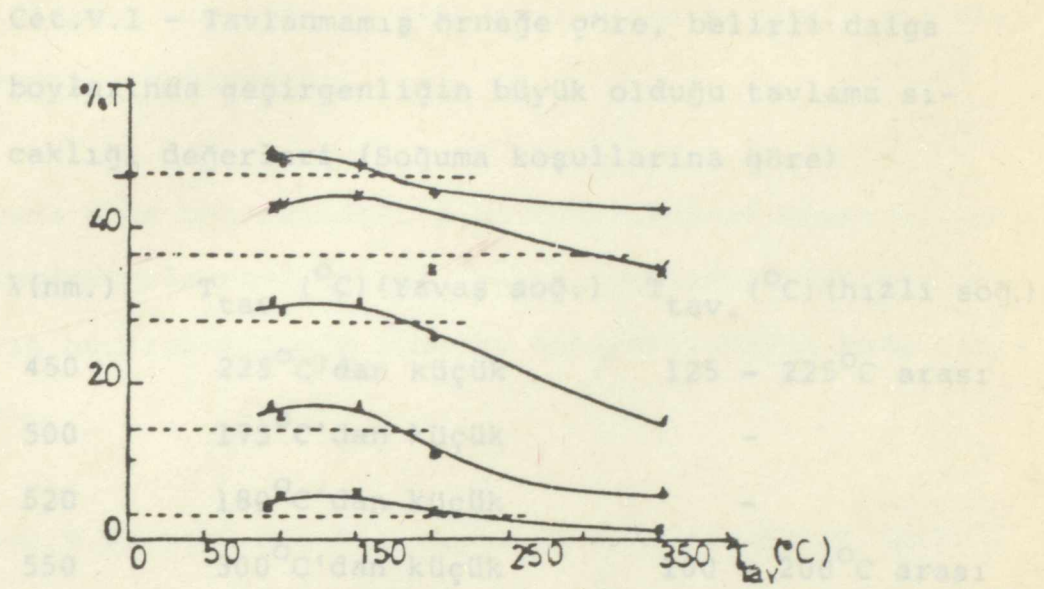
Optik geçirgenlik katsayısının tavlama sıcaklığına bağıllılığı hızlı ve yavaş soğuma şekli ve beş dalga boyu için Şek.V.8 ve Şek.V.9'da gösterilmiştir.



Şek.V.8 - Optik geçirgenliğin tavlama sıcaklığına bağıllılığı

■ 450nm., ▲ 500nm., ● 520nm., × 550nm., + 600nm.

dalga boylarını göstermektedir. -----yatay çizgi tavlannmamış örneğin geçirgenlik değeridir. (Hızlı soğuma hali)



Şek.V.9 - Yavaş soğutulan örneklerde beş dalga boyu için geçirgenlik-tavlama sıcaklığı eğrileri

■450nm., ▲500nm., ●520nm., x550nm., +650nm.

dalga boylarını, ---- çizgi tavlanmamış örneğin geçirgenlik değerini göstermektedir.

Bu eğrilerden görüleceği gibi geçirgenlik hemen hemen tüm dalga boyları için en büyük değerini 150°C'deki tavlama sıcaklığında almaktadır.

Şekillerde görülen yatay çizgiler tavlanmamış örneğin geçirgenliğini göstermektedir. Rahatça görülebileceği gibi her dalga boyunda, geçirgenliğin tavlanmamış örneğinkine göre yüksek olduğu tavlama sıcaklığı değeri değişmektedir. Cet. V.1 dalga boyuna bağlı olarak yavaş ve hızlı soğuma şekilleri için bu sınırı göstermektedir.

Cet.V.1 - Tavlanmamış örneğe göre, belirli dalga boylarında geçirgenliğin büyük olduğu tavlama sıcaklığı değerleri (Soğuma koşullarına göre)

λ (nm.)	$T_{\text{tav.}}$ ($^{\circ}\text{C}$) (Yavaş soğ.)	$T_{\text{tav.}}$ ($^{\circ}\text{C}$) (hızlı soğ.)
450	225 $^{\circ}\text{C}$ 'dan küçük	125 - 225 $^{\circ}\text{C}$ arası
500	175 $^{\circ}\text{C}$ 'dan küçük	-
520	180 $^{\circ}\text{C}$ 'dan küçük	-
550	300 $^{\circ}\text{C}$ 'dan küçük	100 - 200 $^{\circ}\text{C}$ arası
650	170 $^{\circ}\text{C}$ 'dan küçük	-

Cet.V.1'de görülen değerlerden daha büyük tavlama sıcaklıklarında geçirgenlik tavlanmamış örneğine oranla azalmaktadır. Buradan geçirgenliği arttırmak için tavlama sıcaklığını fazla yükseltmeye gerek olmadığı hemen görülmekte ayrıca yavaş soğuma halinde daha büyük değerler elde edilebilmektedir. Zaten çalışmada da CdS kaplama yöntemi olarak kimyasal banyo yönteminin seçilmesinin nedeninin, alçak sıcaklıklarda kaplama yapılabilmesi, bu nedenle hemen hemen her türlü taşıyıcı malzemesine kaplanabilmesi olduğu belirtilmişti. Optik geçirgenliği arttırmak için yüksek tavlama sıcaklıklarına çıkmak bu bakımdan elverişsiz olurdu. Ölçüler de buna gerek olmadığını göstermiş oldu.

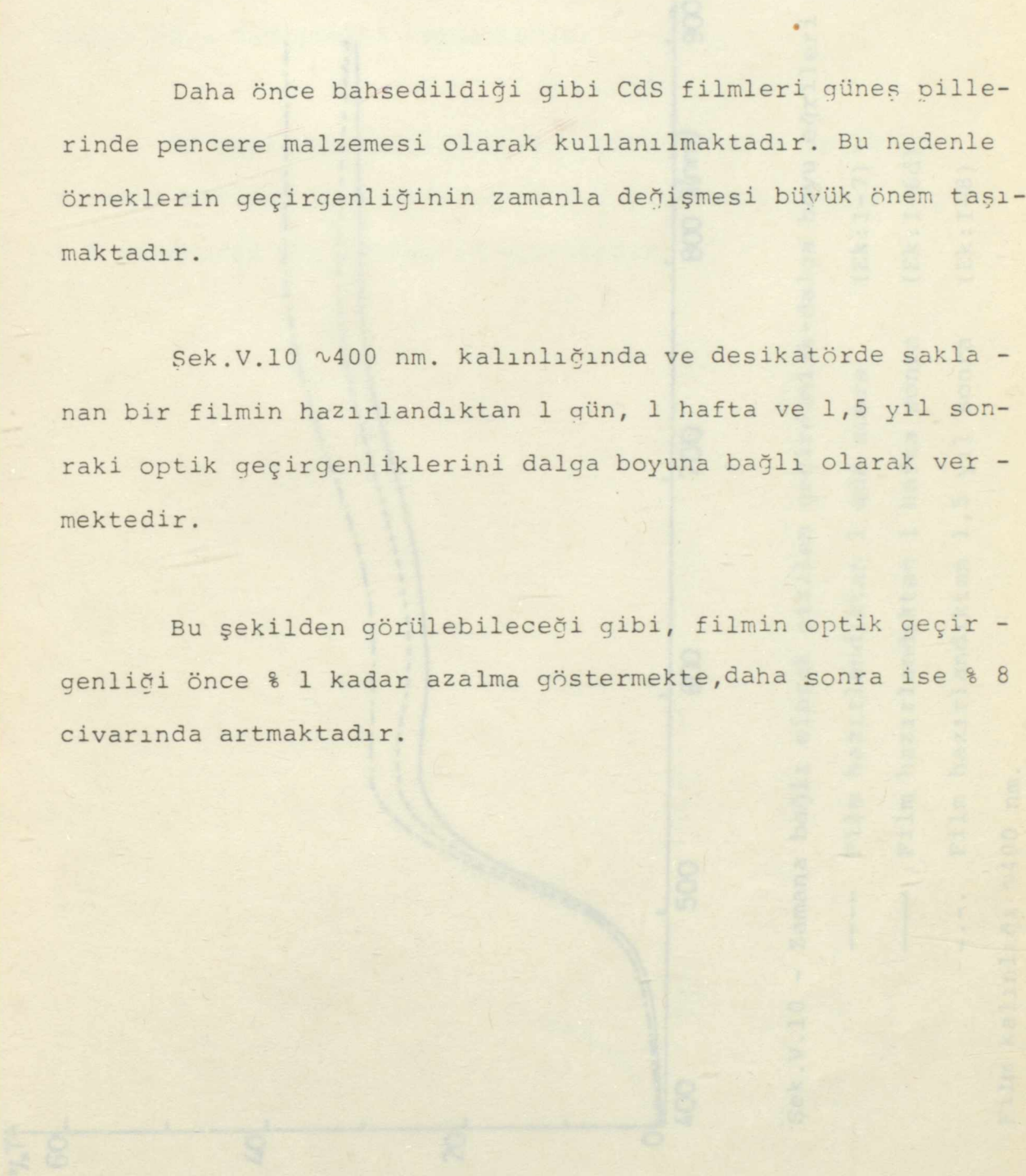
Örneklerin X ışınları diffraktometresi ile yapılan yapı analizleri neticesinde tüm örneklerin çok zayıf

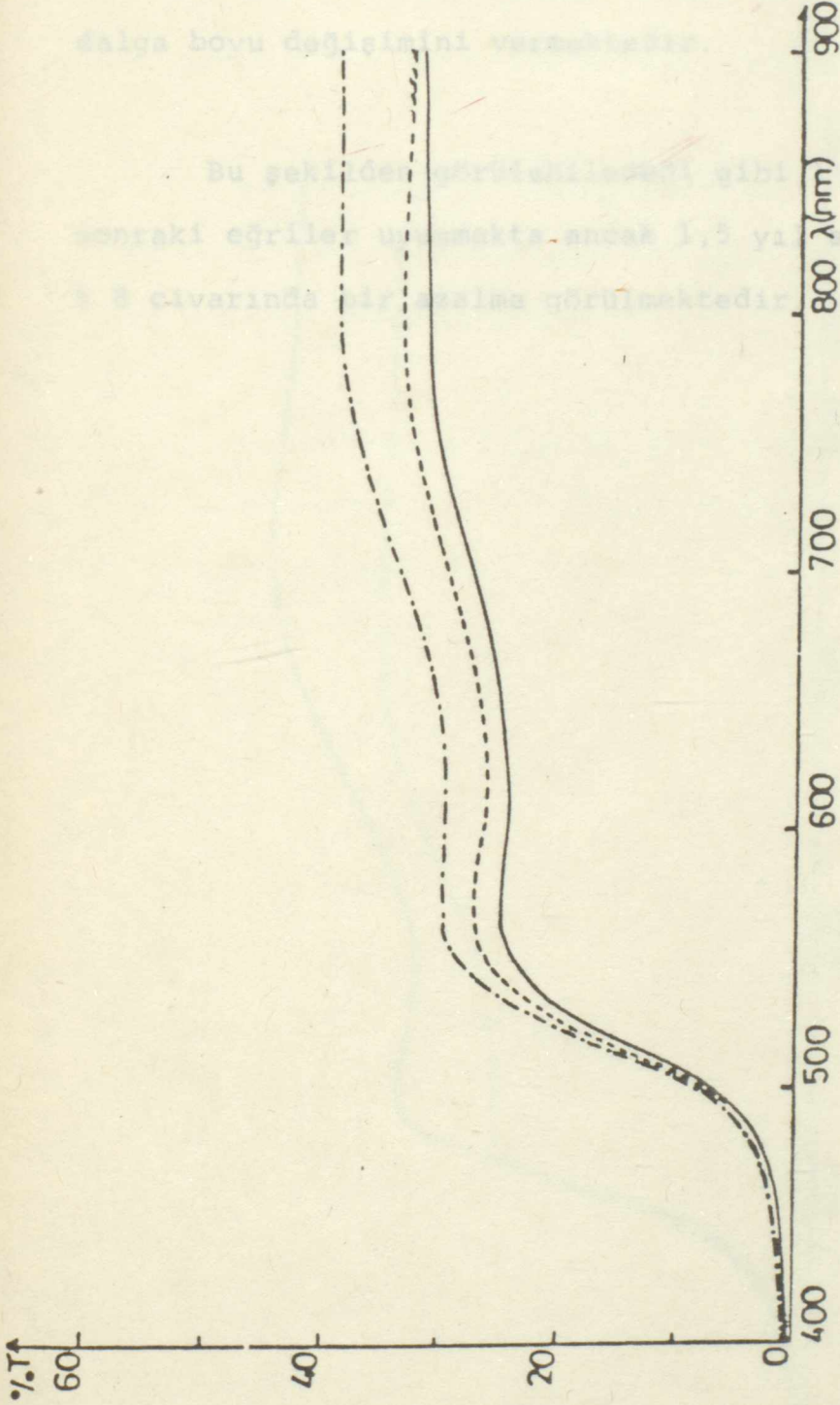
kristalitlerden oluştuğu ve C111 düzleminde tercihli yönelme gösterdiği görülmüştür.

Daha önce bahsedildiği gibi CdS filmleri güneş pille-
rinde pencere malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle
örneklerin geçirgenliğinin zamanla değişmesi büyük önem taşı-
maktadır.

Şek.V.10 ~400 nm. kalınlığında ve desikatörde sakla-
nan bir filmin hazırlandıktan 1 gün, 1 hafta ve 1,5 yıl son-
raki optik geçirgenliklerini dalga boyuna bağlı olarak ver-
mektedir.

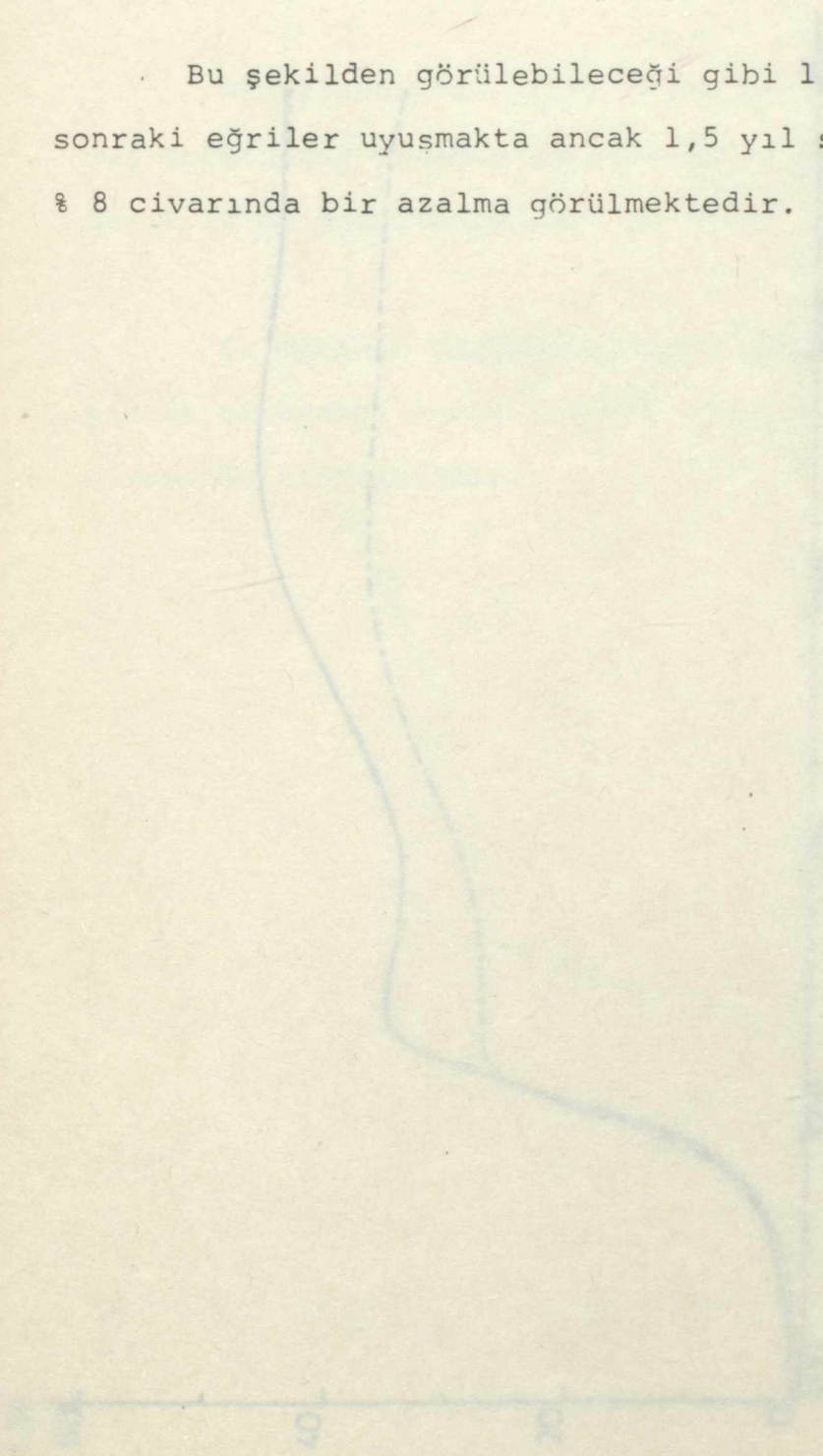
Bu şekilden görülebileceği gibi, filmin optik geçir-
genliği önce % 1 kadar azalma göstermekte, daha sonra ise % 8
civarında artmaktadır.





Şek.V.11 ise ~ 350 nm. kalınlığındaki bir filmin hazırlandıktan 1 hafta, 15 gün ve 1,5 yıl sonraki geçirgenlik dalga boyu değişimini vermektedir.

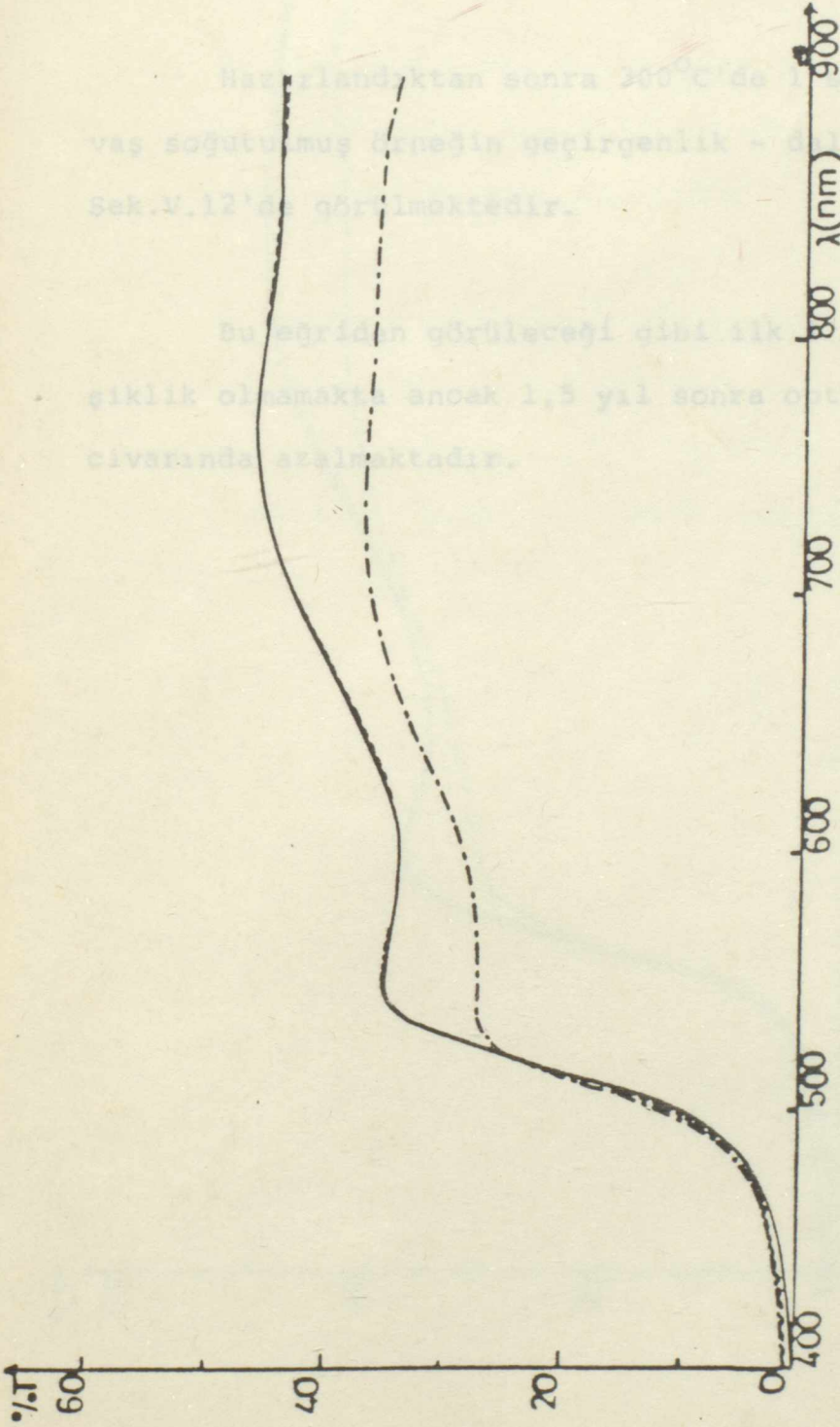
Bu şekilden görülebileceği gibi 1 hafta ve 15 gün sonraki eğriler uyuşmakta ancak 1,5 yıl sonra alınan ölçüde $\% 8$ civarında bir azalma görülmektedir.



Şek.V.10 ve 11 karşılaştırılırsa yağlanmada film kalınlığının etkisinin büyük olduğu, kalın filmlerde optik geçirgenlik lehine artış olduğu görülmektedir.

Hazırlandıktan sonra 200°C'de 1 saat tavlama ve yavaş soğutulmuş filmin geçirgenlik - dalgaboyu eğrisi Şek.V.12'de görülmektedir.

Bu eğriyi karşılaştığımız gibi ilk hafta içinde optik geçirgenlik olmaksızın ancak 1,5 yıl sonra optik geçirgenlik civarında azalmaktadır.



Şek.V.11 - ~350 nm. kalınlığındaki filmin yağlanması

---- Film hazırlandıktan 1 hafta sonra (Ek:I-2c)

— Film hazırlandıktan 15 gün sonra (Ek:I-6c)

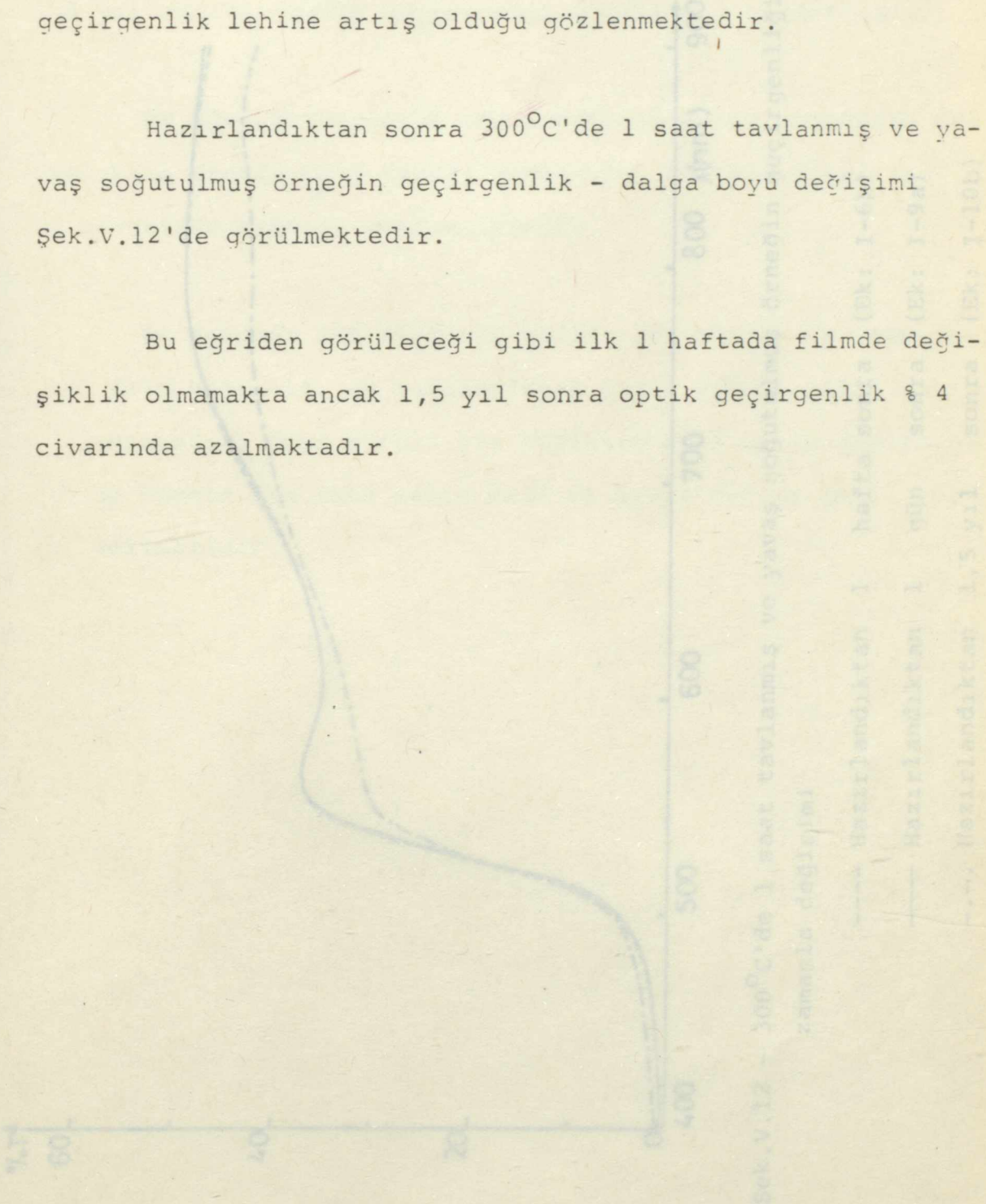
-.-.- Film hazırlandıktan 1,5 yıl sonra (Ek:I.8b)

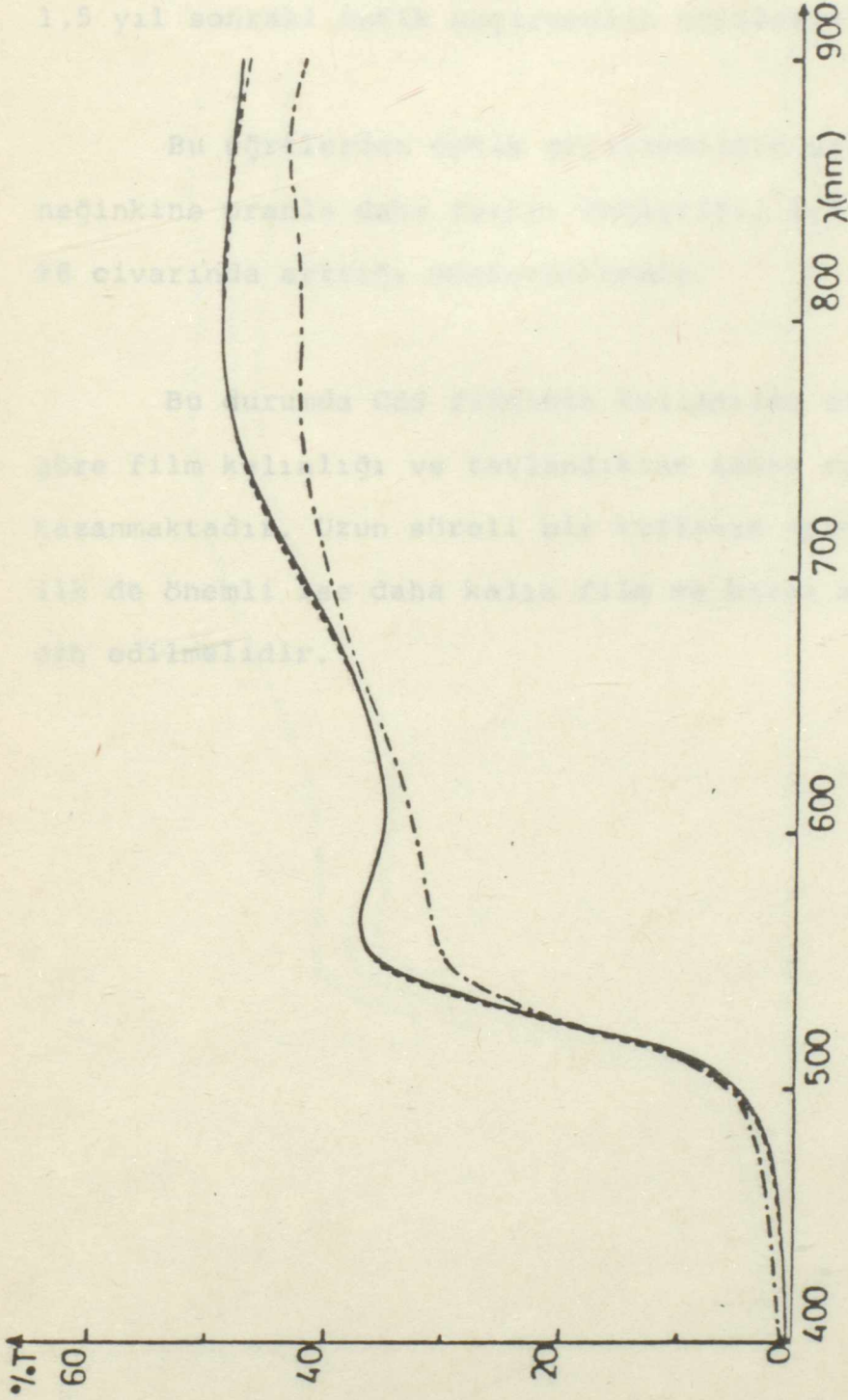
Çizilen T - λ eğrileri

Şek.V.10 ve 11 karşılaştırılırsa yaşlanmada film kalınlığının etkisinin büyük olduğu, kalın filmlerde optik geçirgenlik lehine artış olduğu gözlenmektedir.

Hazırlandıktan sonra 300°C'de 1 saat tavllanmış ve yavaş soğutulmuş örneğin geçirgenlik - dalga boyu değişimi Şek.V.12'de görülmektedir.

Bu eğriden görüleceği gibi ilk 1 haftada filmde değişiklik olmamakta ancak 1,5 yıl sonra optik geçirgenlik % 4 civarında azalmaktadır.





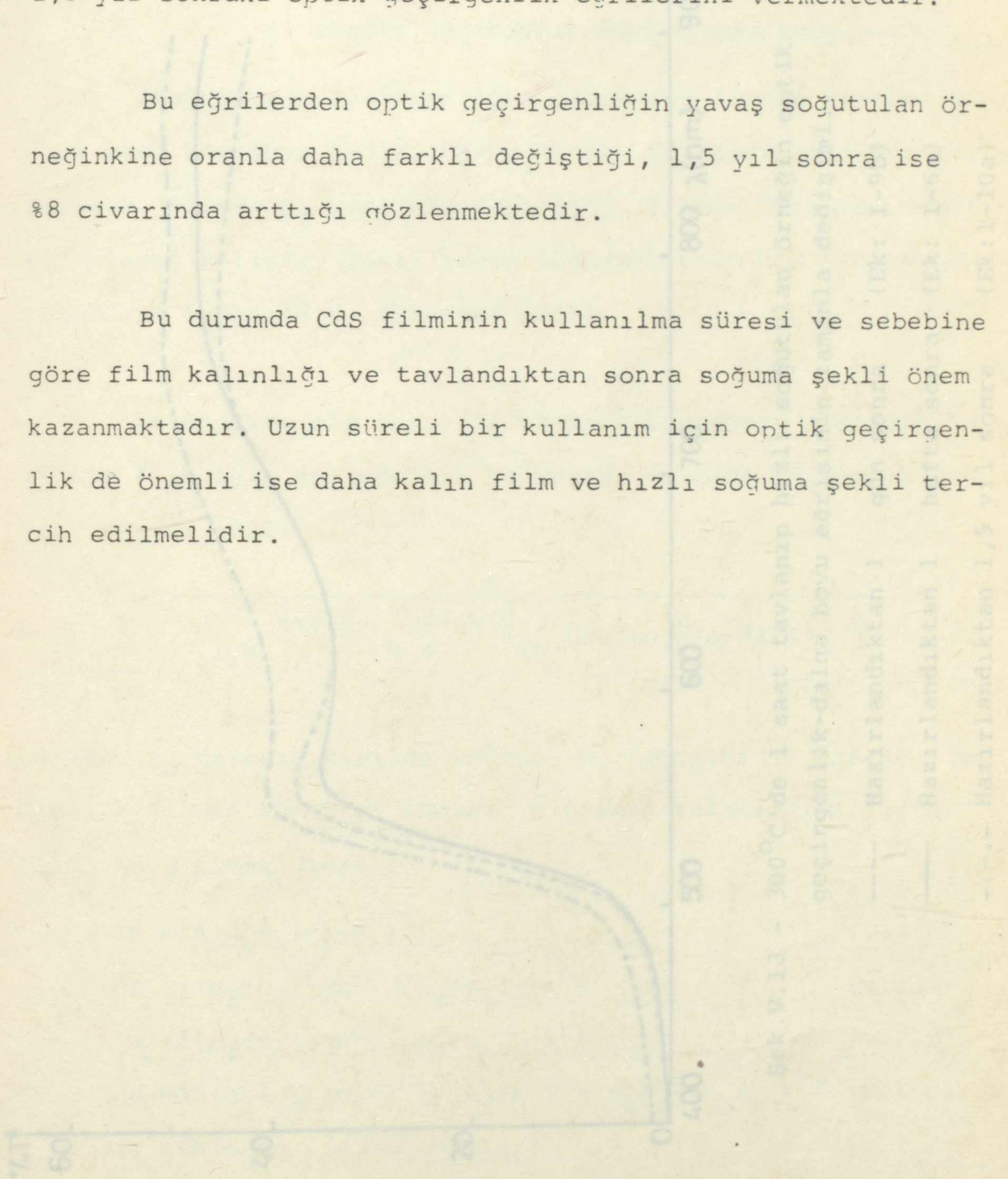
Şek.V.12 - 300°C'de 1 saat tavllanmış ve yavaş soğutulmuş örneğin geçirgenliğinin zamanla değişimi

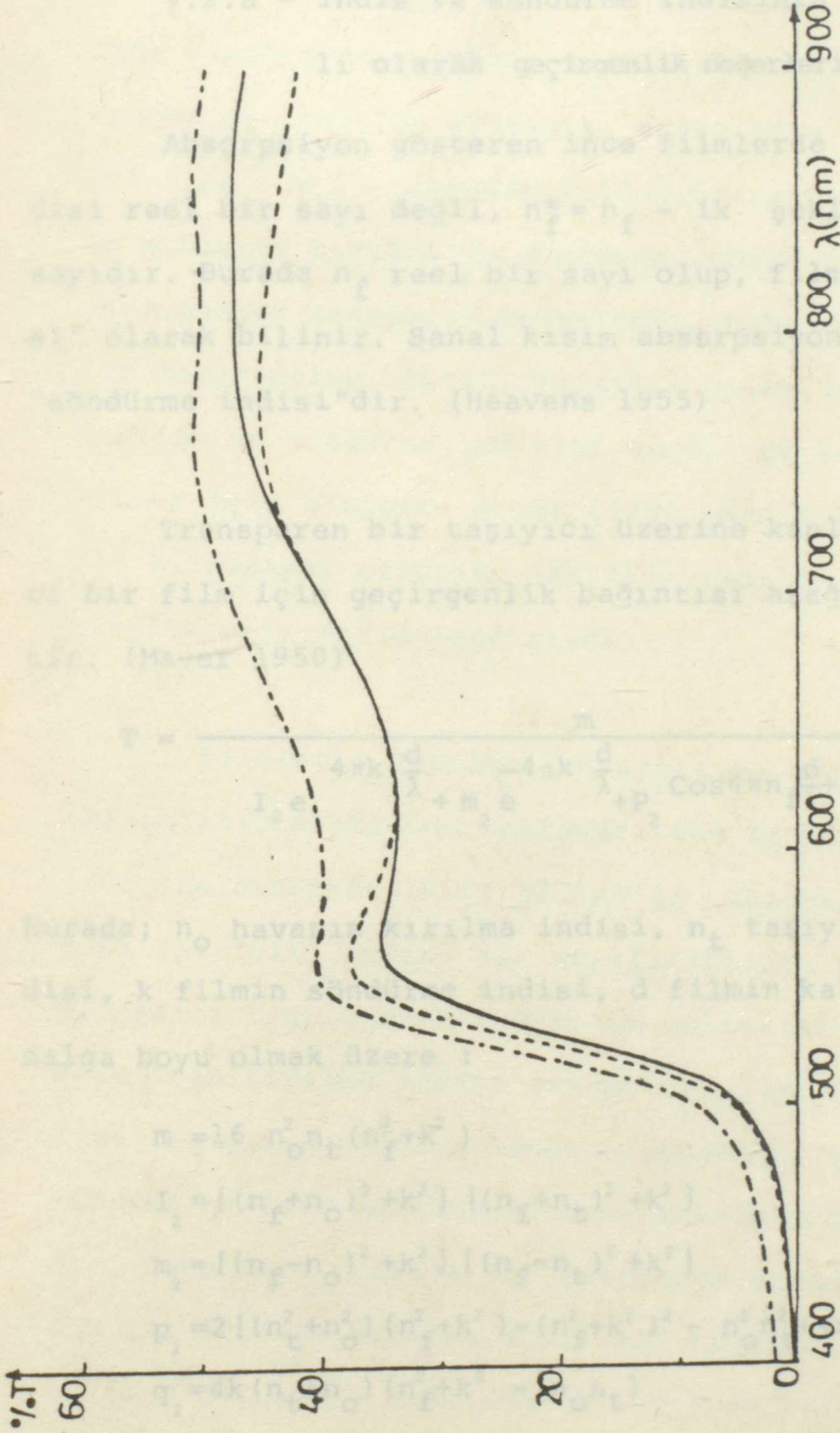
- Hazırlandıktan 1 hafta sonra (Ek: I-6b)
- Hazırlandıktan 1 gün sonra (Ek: I-9a)
- Hazırlandıktan 1,5 yıl sonra (Ek: I-10b)

Şek.V.13 yine 300°C 'de 1 saat tavllanmış ancak hızlı soğutulmuş örneğin, örnek hazırlandıktan 1 hafta, 15 gün ve 1,5 yıl sonraki optik geçirgenlik eğrilerini vermektedir.

Bu eğrilerden optik geçirgenliğin yavaş soğutulan örneğine oranla daha farklı değiştiği, 1,5 yıl sonra ise %8 civarında arttığı gözlenmektedir.

Bu durumda CdS filminin kullanılma süresi ve sebebine göre film kalınlığı ve tavlandıktan sonra soğuma şekli önem kazanmaktadır. Uzun süreli bir kullanım için optik geçirgenlik de önemli ise daha kalın film ve hızlı soğuma şekli tercih edilmelidir.





Şek.V.13 - 300°C'de 1 saat tavlanylup hızlı soğutulan örneğin optik geçirgenlik-dalga boyu eğrisinin zamanla değişimi.

- Hazırlandıktan 1 gün sonra (Ek: I-9b)
- Hazırlandıktan 1 hafta sonra (Ek: I-6a)
- .-.- Hazırlandıktan 1,5 yıl sonra (Ek: I-10a)

V.2 - HESAPLAMALAR :

V.2.a - İndis ve söndürme indisinin dalga boyuna bağılı olarak geçirgenlik değerlerinden hesaplanması :

Absorpsiyon gösteren ince filmlerde filmin kırılma indisi reel bir sayı değil, $n_f^* = n_f - ik$ şeklinde kompleks bir sayıdır. Burada n_f reel bir sayı olup, filmin "kırılma indisi" olarak bilinir. Sanal kısım absorpsiyonun bir ölçüsü olup "söndürme indisi"dir. (Heavens 1955)

Transparen bir taşıyıcı üzerine kaplanmış absorplayıcı bir film için geçirgenlik bağıntısı aşağıda gösterilmiştir. (Mayer 1950)

$$T = \frac{m}{I_2 e^{4\pi k \frac{d}{\lambda}} + m_2 e^{-4\pi k \frac{d}{\lambda}} + p_2 \cos 4\pi n_f \frac{d}{\lambda} + q_2 \sin 4\pi n_f \frac{d}{\lambda}} \quad (V.1)$$

Burada; n_o havanın kırılma indisi, n_t taşıyıcının kırılma indisi, k filmin söndürme indisi, d filmin kalınlığı, λ ışığın dalga boyu olmak üzere :

$$m = 16 n_o^2 n_t (n_f^2 + k^2) \quad (V.1.a)$$

$$I_2 = [(n_f + n_o)^2 + k^2] [(n_f + n_t)^2 + k^2] \quad (V.1.b)$$

$$m_2 = [(n_f - n_o)^2 + k^2] [(n_f - n_t)^2 + k^2] \quad (V.1.c)$$

$$p_2 = 2 [(n_t + n_o)(n_f^2 + k^2) - (n_f^2 + k^2)^2 - n_o^2 n_t^2 + 4n_o n_t k^2] \quad (V.1.d)$$

$$q_2 = 4k(n_t + n_o)(n_f^2 + k^2 - n_o n_t) \quad (V.1.f)$$

dir.

Çalışmada dalga boyunun her 10 nm. değişmesine karşılık olan geçirgenlik değerleri spektrofotometrenin yazıcısı ile kaydedildi (Ek:II). Yansıtma katsayısını okuyabilme olanağı olmadığından filmin indis ve söndürme indisi değerleri sadece geçirgenlik katsayısı değerinden ve ihmalsiz bir formül olan - V.1 - formülü kullanılarak hesaplandı. Bunun için en muhtemel kırılma ve söndürme indisi değerleri verilerek geçirgenlik katsayısı hesaplandı. Deneyde bulunan geçirgenlik değerlerine (Ek:II) karşılık gelen değer çifti filmin kırılma ve söndürme indisini verdi. Bu karmaşık işlemi yapabilmek için binlerce değer çifti vermek gerekti. Bu sebeple bir bilgisayar programı (Ek:III) yapıldı ve işlemler ancak bilgisayarla neticelendirildi.

Filmlerin kırılma indisleri Şek.V.1'deki geçirgenlik eğrilerinin ekstremum noktalarından da hesaplanabilir. (Keha 1978, Goldschmidt 1984) Bilindiği gibi ekstremumlar interferens (girişim) etkisi ile açıklanabilir. Bu değerlere girişim şartı uygulanarak ekstremum noktasının bulunduğu dalga boyu için kırılma indisi hesaplanabilir. CdS'ün kırılma indisi taşıyıcınıninkinden büyük olduğundan, geçirgenlik eğrilerindeki girişim maksimumlarına, maksimum şartı uygulanmalıdır. Daha önce yapılan bir çalışmada vakumda kaplanmış olan CdS filmlerinin kırılma indisleri bu yöntemle bulundu. (Keha 1978) O çalışmada elde edilen indis değerleri Cet.V.2 ve Cet.V.3'de verilmiştir.

Cet.V.2 - 900 Å/ dak'lık buharlaştırma hızında

4.10⁻⁴ Torr basınçta vakumda elde edilmiş CdS film-

lerinin optik geçirgenlik eğrilerinden hesaplanan

(Keha 1978) ve bunlara karşılık gelen literatür

(Ferguson, Gottesman 1954) değerleri :

d (nm)	λ_{ort} (nm)	n_{ort}	n_{lit}
90	502	2,7	2,60
99	520	2,62	2,575
103	531	2,57	2,55
120	588	2,45	2,43
125	600	2,4	2,41

Cet.V.3 - 100 Å/dak'lık buharlaştırma hızında 4.10⁻⁴

Torr basınçta vakumda elde edilen CdS örneklerinin

geçirgenlik ölçmelerinden bulunan kırılma indisi

değerleri (Keha 1978) :

d (nm)	λ_{ort} (nm)	n_{ort}
122	497	2,04
131	509	1,94
159	548	1,72
171	574	1,69
242	521	2,2

Tablolarda ilk sütun film kalınlığını, ikinci sütun ekstremumun oluştuğu dalga boyunu, üçüncü sütun ise interferens şartından hesaplanan ortalama kırılma indisini vermektedir. Cet.V.2 ayrıca aynı şartlarda hazırlanmış Cds filmleri için literatür değerlerini de içermektedir.

İki cetveldeki kırılma indisi değerleri arasındaki fark buharlaştırma hazının farklılığından olmaktadır.

Ancak şek.V.1'den de görüldüğu gibi, eğrilerin ekstrem noktaları keskin olmamakta, bu nedenle interferensin oluştuğu dalga boyu kesin olarak belirlenememektedir. Ayrıca çalışılan dalga boyu bölgesinde ekstremum noktası görme olasılığı film kalınlığı tarafından sınırlanmakta, bir film için ancak bir nokta görülmektedir. Film kalınlığının arttırılmasıyla ekstremum noktalarının sayısını arttırmak mümkündür. Bu da filmin absorplayıcı olması nedeni ile geçirgenlik ölçülerine imkan vermemektedir.

Bu nedenlerle bu çalışmada yöntem olarak mümerik analiz yöntemi seçildi.

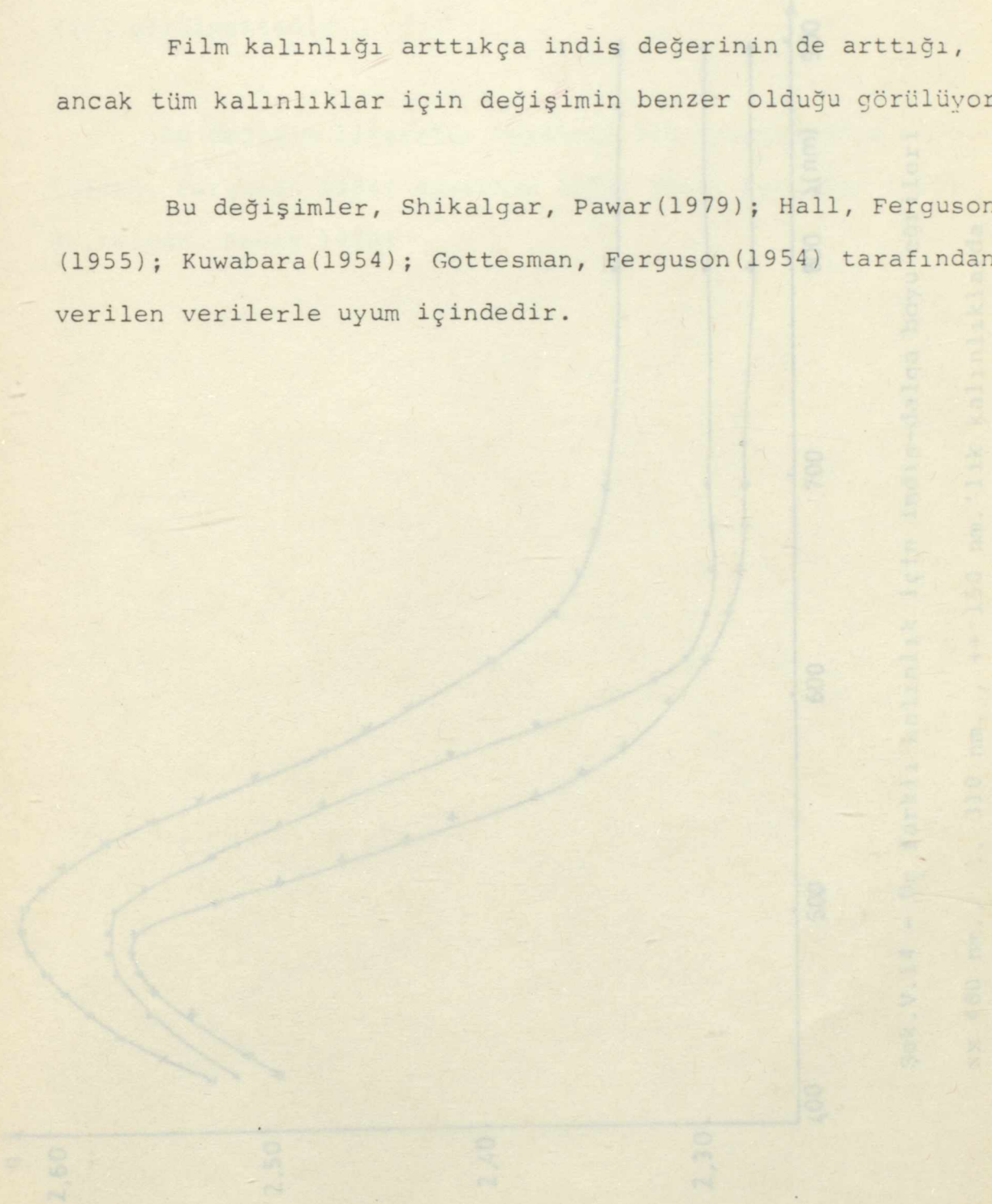
şek.V.14 üç farklı kalınlıkta hazırlanan örnekte indisin dalga boyuna bağlılığını göstermektedir.

Bu eğrilerden indisin 150-480 nm. kalınlık aralığında aynı değişimi gösterdiği, 430 nm.'lik dalga boyundan itibaren

artarak 490-510 nm.'de en büyük değerine vardığı ve 600 nm. lik dalga boyundan sonra çok az değişim gösterdiği gözleniyor.

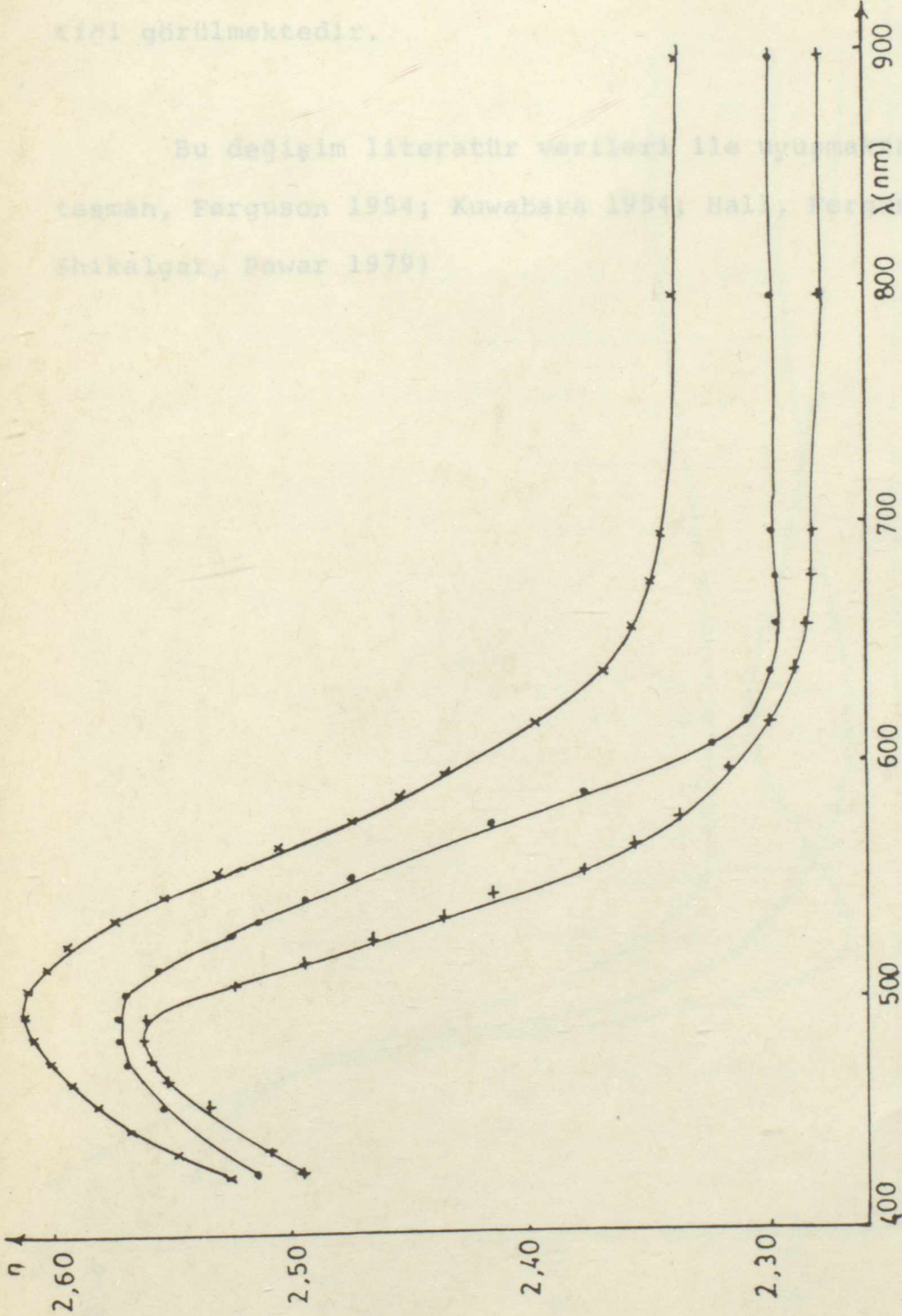
Film kalınlığı arttıkça indis değerinin de arttığı, ancak tüm kalınlıklar için değişimin benzer olduğu görülüyor.

Bu değişimler, Shikalgar, Pawar(1979); Hall, Ferguson (1955); Kuwabara(1954); Gottesman, Ferguson(1954) tarafından verilen verilerle uyum içindedir.



Şek.V.15'deki eğrilerden görülmüş gibi 430 nm. dalga boyu ışıkta en büyük değere sahiptir, sonra hızla düşerek 510-540 nm. dalga boyu aralığında bir minimumdan geçtiği görülmektedir.

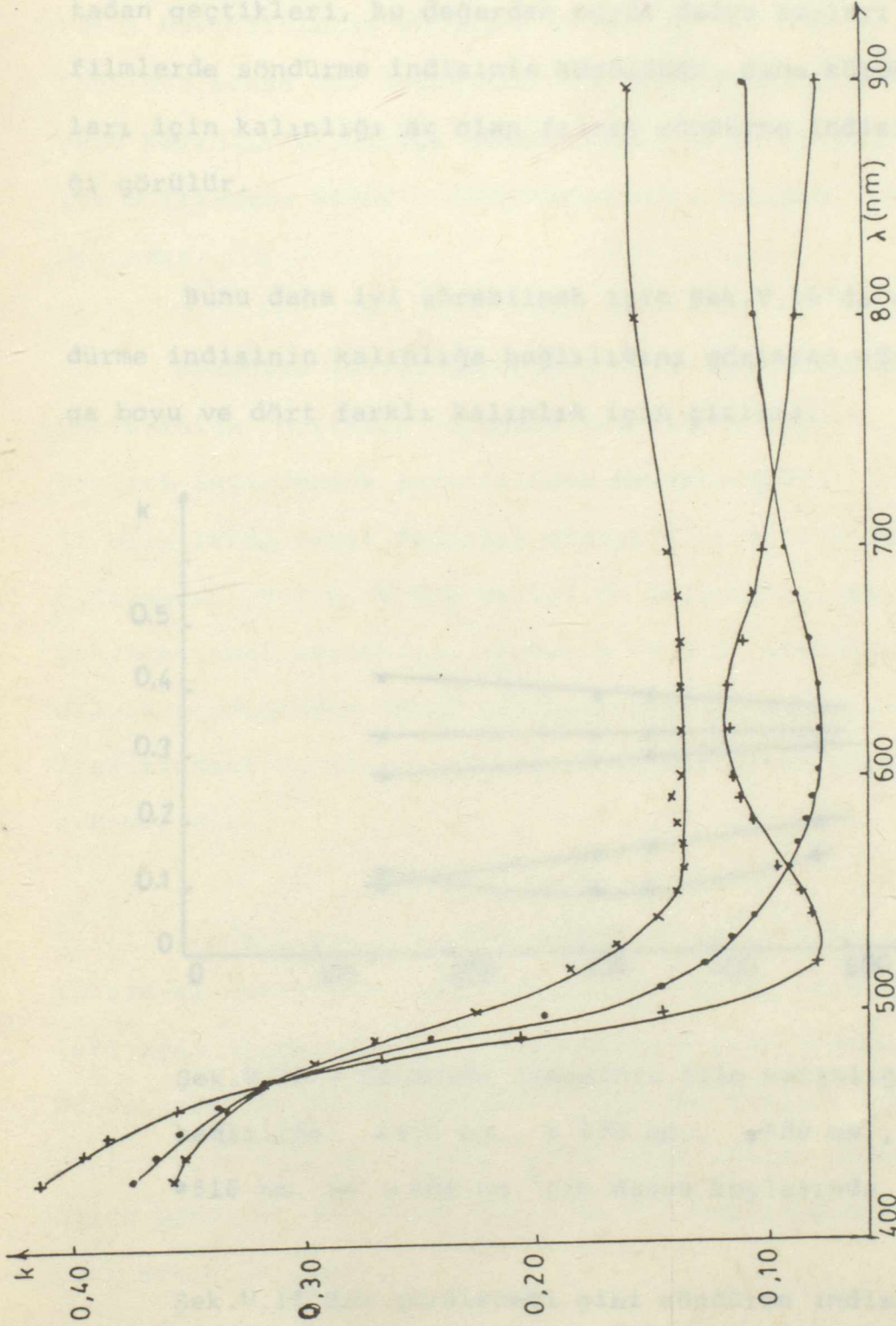
Bu değişim literatür verileri ile uyumludur. (Forsman, Ferguson 1954; Kuwabara 1954; Hall, Ferguson 1955; Shikalgar, Pawar 1979)



Şek.V.14 - Üç farklı kalınlık için indis-dalga boyu eğrileri
xx 480 nm., .. 310 nm., ++ 150 nm.'lik kalınlıklarda

Şek.V.15'deki eğrilerden söndürme indisinin 430 nm. dalga boylu ışıpta en büyük değerde olduğu, sonra hızla düşerek 510-540 nm. dalga boyu aralığında bir minimumdan geçtiği görölmektedir.

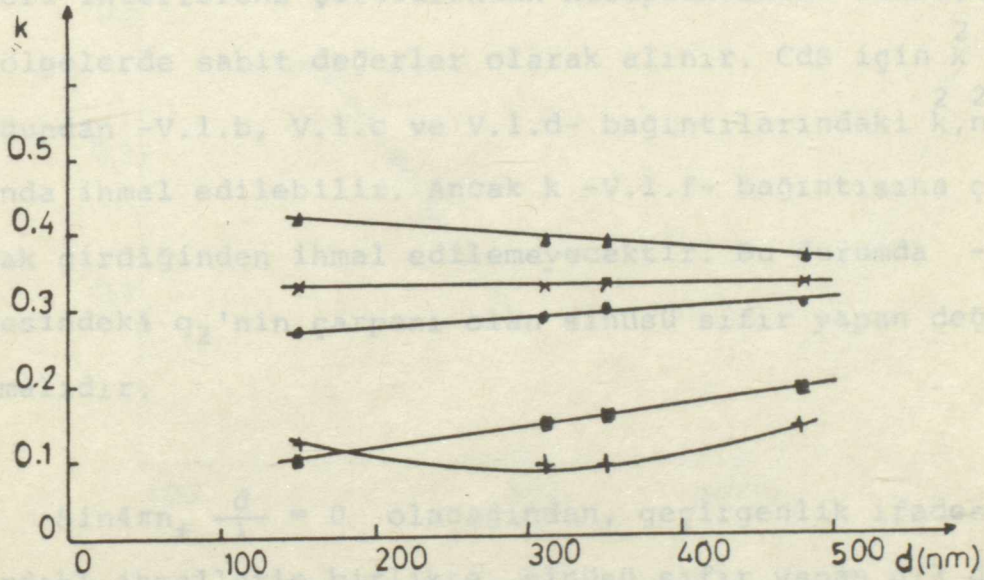
Bu değişim literatür verileri ile uyuşmaktadır. (Gottesman, Ferguson 1954; Kuwabara 1954; Hall, Ferguson 1955; Shikalgar, Pawar 1979)



Şek.V.15 - ++ 150 nm. , . . 310 nm. , x x 480 nm.'lik film kalınlıklarında, söndürme indisinin dalga boyuna bağıllığı

Film kalınlığına bağlı olarak söndürme indisi değerleri incelenirse, eğrilerin 470 nm. dalga boyunda aynı noktadan geğtikleri, bu değerden büyük dalga boyları için ince filmlerde söndürme indisinin küçüldüğü, daha küçük dalga boyları için kalınlığı az olan filmin söndürme indisinin arttığı görülür.

Bunu daha iyi görebilmek için Şek.V.16'da görülen söndürme indisinin kalınlığa bağlılığını gösteren eğri altı dalga boyu ve dört farklı kalınlık için çizildi.



Şek.V.16 - Söndürme indisinin film kalınlığına bağlılığı. ▲430 nm., X 470 nm., ●480 nm., ■510 nm. ve +600 nm.'lik dalga boylarında

Şek.V.16'dan görüleceği gibi söndürme indisi, 470 nm. dalga boyunda 150-480 nm. aralığında seçilen dört farklı kalınlıktaki film için sabit kaldı. Bu değerden daha küçük

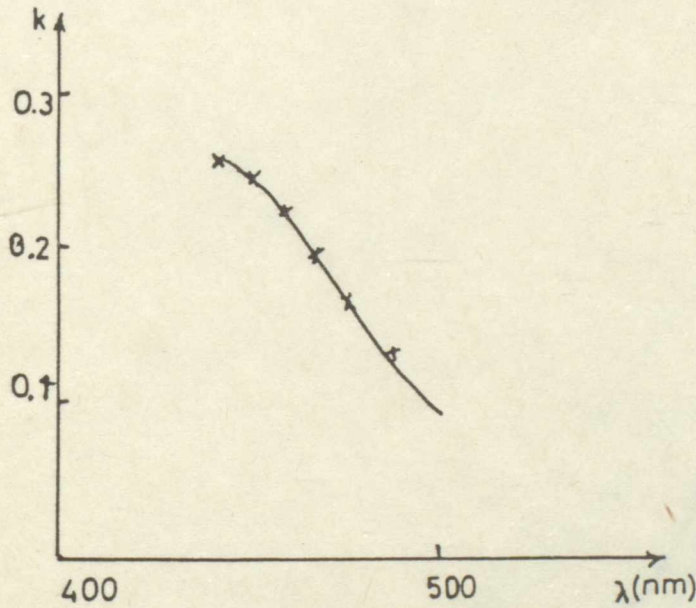
dalga boylarında film kalınlığı arttıkça söndürme indisi küçük bir azalma gösterdi, büyük dalga boylarında ise tersine büyük kalınlıklarda söndürme indisi arttı. 510 nm.'lik dalga boyundan sonra ise değişimler bir eğri şeklini aldı. Bu bölgede kalınlık büyüdükçe söndürme indisi de büyüdü. Bu değişim Shikalgar, Pawar (1979) tarafından verilen değişime uymaktadır.

Söndürme indisi değerleri -V.1- bağıntısından da bazı yaklaşımlar yapılarak bulunabilir. Filmin kırılma indisi değerleri interferens şartlarından hesaplandıktan sonra, belirli bölgelerde sabit değerler olarak alınır. CdS için $k^2 \ll n^2$ olduğundan -V.1.b, V.1.c ve V.1.d- bağıntılarındaki k^2, n^2 'nin yanında ihmal edilebilir. Ancak k -V.1.f- bağıntısına çarpan olarak girdiğinden ihmal edilemeyecektir. Bu durumda -V.1- ifadesindeki q_2 'nin çarpanı olan sinüsü sıfır yapan değer aranmalıdır.

$\sin 4\pi n_f \frac{d}{\lambda} = 0$ olacağından, geçirgenlik ifadesinde yukardaki ihmallerle birlikte, sinüsü sıfır yapan d/λ değerleri için işlem yapılarak bilinmeyen k değeri hesaplanabilir. Bu vakumda 900 A/dak.'lık buharlaştırma hızında kaplanmış örnekler için yapıldı. (Keha, 1978) Elde edilen değerlerle çizilen söndürme indisinin dalga boyuna bağlılığını gösteren eğri Şek.V.17'dedir.

Bu eğri genel karakter olarak bu çalışmada elde edilen eğrilere uymaktadır. Dan Goldschmidt tarafından 1984 yılında yapılan bir çalışma da yukarıdaki yaklaşımı önermektedir.

Bu yaklaşımın bu çalışmada uygulanmamasının nedeni sinüsü sıfır yapan d/λ değerlerinin sayısının sınırlı olması ve bu nedenle her dalga boyu için söndürme indisinin hesaplanması olasılığının azlığıdır.

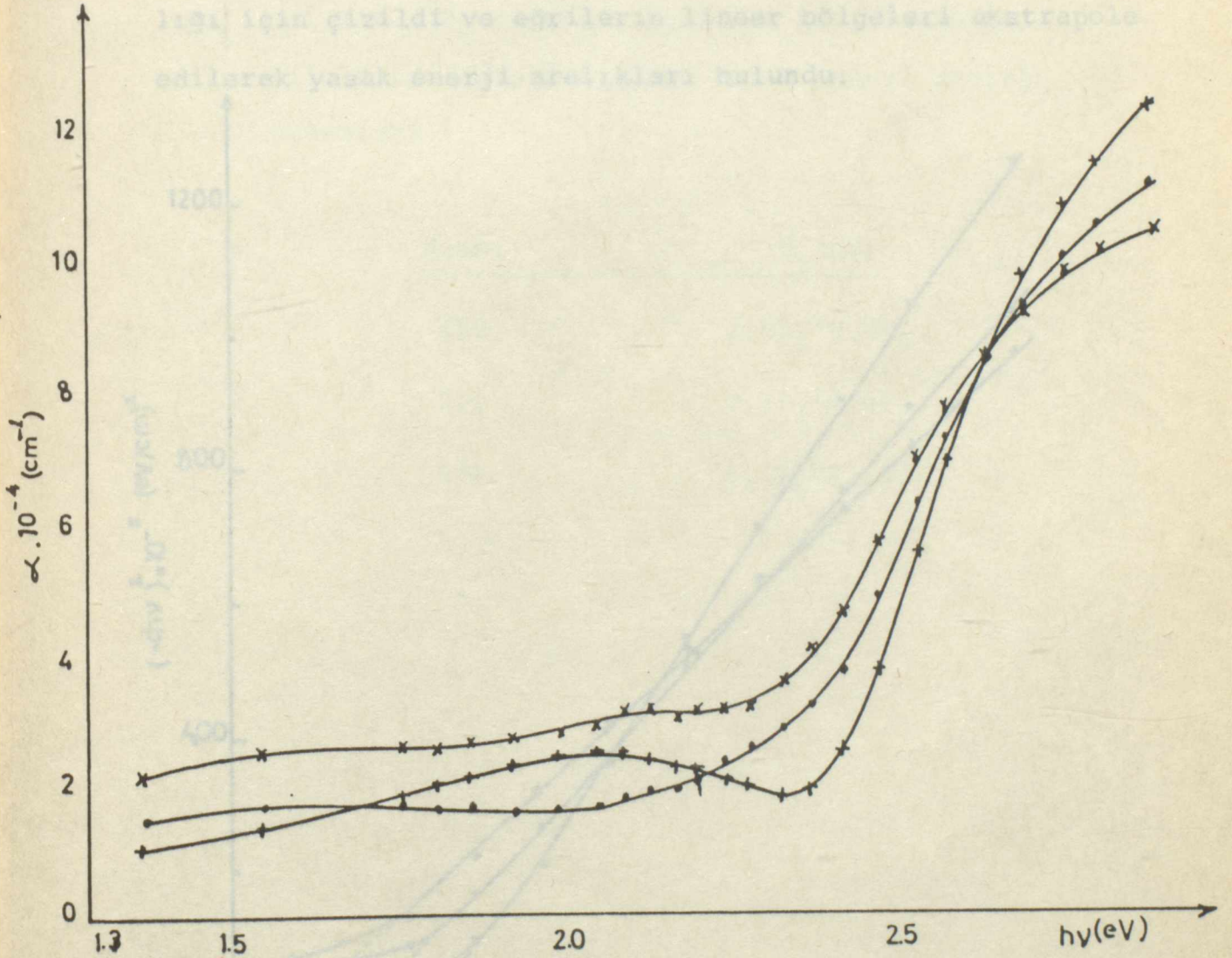


Şek.V.17 - Vakumda kaplanmış örnekler için söndürme indisinin dalga boyuna bağıllılığı (Keha 1978)

V.2.b - Absorpsiyon katsayısının hesaplanması:

CdS filmlerinin absorpsiyon katsayıları, söndürme indisleri bilindiğinden $\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$ bağıntısı kullanılarak hesaplandı. (Abelés, 1972) Şek.V.18 üç farklı kalınlık için absorpsiyon katsayısının enerjiye bağıllılığını göstermektedir.

Bu şekilden görüleceği gibi absorpsiyon katsayısı $4 \cdot 10^{-4}$ değerine kadar 10 cm.^{-1} değerinde kalıp, bundan sonra hızla artarak $2,7 \text{ eV.}'da$ $5 \cdot 10^{-4}$ değerine varmaktadır. Bu değerler ve eğrinin değişimi Dutton (1958), Shalimova (1969), Bleha (1970), Shikalgar, Pawar (1979)'ın verdikleri değerlerle uyumaktadır.

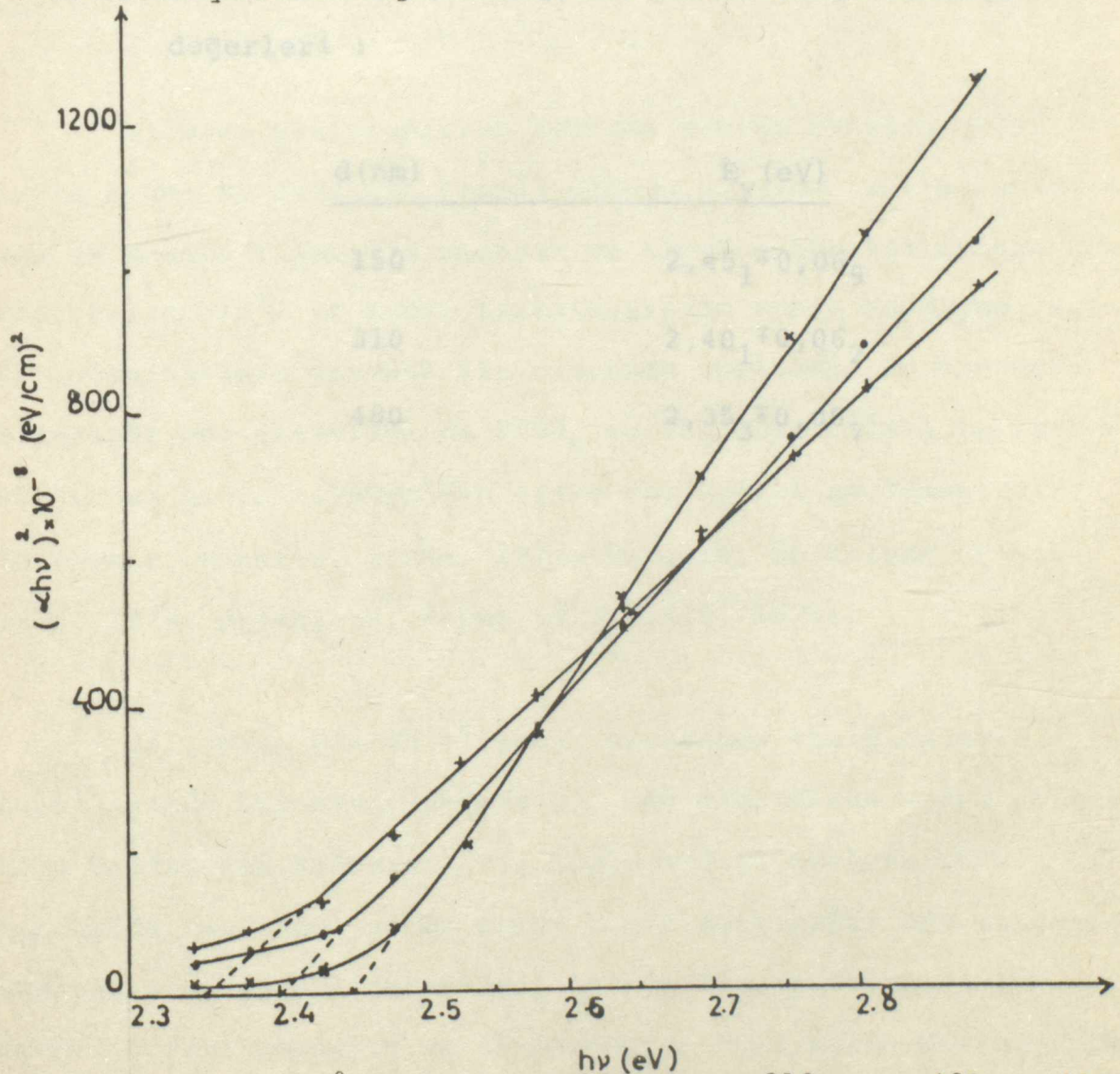


Şek.V.18 - Üç farklı film kalınlığı için absorpsiyon katsayısının enerjiye bağıllığı. \bullet 310 nm., \cdot 480 nm., \times 150 nm.'lik film kalınlıklarında

V.2.c - Yasak enerji aralığının bulunması :

Direkt geçişli yarı iletkenlerde absorpsiyon katsayısını yasak enerji aralığına bağlayan ifade -III.3- bağıntı - sıyla verilmiş ve temel absorpsiyon kesim frekansından, yasak enerji aralığının bulunabileceğinden bahsedilmişti.

Şek.V.19'da $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ eğrisi üç farklı film kalınlığı için çizildi ve eğrilerin lineer bölgeleri ekstrapole edilerek yasak enerji aralıkları bulundu.



Şek.V.19 - $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ eğrisi x 150 nm., • 310 nm. + 480 nm.'lik film kalınlıkları için çizilmiştir.

Eğrilerin lineer bölgelerinde bulunan sekiz nokta için en küçük kareler metodu ile yasak enerji aralığında yapılan hatalar hesaplandı. Yasak band aralığının film kalınlığına bağlı olarak değiştiği gözlemlendi. Cet.V.4 film kalınlıkları ve bunlara karşı gelen yasak enerji aralığı değerlerini hataları ile göstermektedir.

Cet.V.4 - Üç farklı kalınlıkta hazırlanan CdS filmlerine karşılık gelen yasak enerji aralığı değerleri :

<u>d (nm)</u>	<u>E_y (eV)</u>
---------------	---------------------------

150	2,45 ₁ ± 0,06 ₉
-----	---------------------------------------

310	2,40 ₁ ± 0,06 ₂
-----	---------------------------------------

480	2,35 ₃ ± 0,05 ₇
-----	---------------------------------------

VI. TARTIŞMA

Bu çalışmada henüz yeni bir metod olan Kimyasal Banyo Birikimi yöntemi kullanılarak kadmiyum sülfür filmleri elde edildi.

Filmler hazırlanırken kaplama kabına konulan çözelti - lerin konma sıralarının önemli olduğu görüldü. Tekrarlanabi - len en düzgün filmlerin amonyak ve tiyoüre çözeltilerinin ka - rıştırılıp $\sim 45^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmasından sonra kadmiyum sul - fat çözeltisinin ilavesi ile oluştuğu gözlemlendi. Bu konudaki literatür oda sıcaklığında CdSO_4 ve NH_3 çözeltileri karıştı - rıldıktan sonra tiyoüre'nin ilave edildiğini söylemektedir. (Pavaskar, Menezes, Sinha, 1977; Bargale, Shikalgar, Pawar, 1978, 1979; Shikalgar, Pawar 1977, 1979, 1979).

Çalışmada CdS'ün oluşması sırasında taşıyıcıların çö - zelti içinde bulunması gerektiği, CdS oluştuktan sonra çözel - tiye daldırılan taşıyıcıların kaplanmadığı gözlenmiştir. Li - teratürde rastlanmayan bu durum şöyle açıklandı; CdS oluşur - ken taşıyıcı yüzeyi çözeltinin içinde ise, kristalleşmeye çe - kirdek görevi görmekte ve kaplanmakta, aksi halde kaplanmamak - tadır.

Kaplama sırasında bileşenlerin konsantrasyonları sabit tutulmuş, farklı kalınlıktaki filmler, taşıyıcının banyoda kalma süresi değiştirilerek elde edilmiştir. (Şek.V.2) Literatür verilerine uygun olarak film kalınlığının taşıyıcıların banyoda kalma süresi ile arttığı gözlenmiştir. (Kaur, Pandya-Chopra, 1980; Shikalgar, Pawar, 1979)

Bölüm V.1'de anlatıldığı şekilde 90-350°C aralığında 1 saat tavlandıktan sonra hızlı ve yavaş soğutulan örneklerin optik geçirgenlikleri incelendiğinde (Şek.V.3,4,5,6,7), 90°C'den 200°C'ye kadar yavaş soğutulan örneklerin, hızlı soğutulan numunelere göre daha büyük optik geçirgenlik gösterdiği, 200°C'de durumun bunun tersine döndüğü ve 350°C'da ilk haldeki gibi davrandığı görüldü.

Tavlanan örneklerin geçirgenlikleri, tavlınmamış numune ile karşılaştırıldığında (Şek.V.8 ve Şek.V.9) optik geçirgenliğin en büyük değerini 150°C'de aldığı görüldü. Bu gözlemlerin nedeni literatür verilerine dayanılarak izah edildi. Bilindiği gibi kimyasal banyo birikimi yöntemi ile kaplanan CdS filmlerinin yapısında kükürt fazlalığı bulunmaktadır. Bargale, Shikalgar, Pawar(1977) CdS'ün fotoiletkenliğini inceledikleri çalışmalarında 150°C'de kükürt çıkışı olduğunu, örnekler bu sıcaklıkta uzun süre tavlандıklarında ise okside olduklarını gözlediler.

Romeo, Sberveglieri, Tarricone(1978) tarafından yapılan bir çalışmada da optik geçirgenlik ve elektrik iletkenlik

üzerinde Cd/S oranının öneminin büyük olduğu, bu büyüklüklerin en iyi değerini Cd/S'ün 1,22 değerinde aldığını gösterdiler. Bu çalışmada 150°C'de tavlanan örneklerde optik geçirgenliğin artışı, kükürt çıkışı ile bu değere yaklaşılmış olmasından olabilir.

Daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında Medvedev, Skornyakov, Betenokov, Drozdova, Kitaev ve Brusnitsyna (1978)'nin radyokimya ve IR spektroskopisi çalışmaları sonucu 250°C'de tavlanan filmlerde oksidasyon gözlenmiştir. Çalışmadaki optik geçirgenliğin azalmasını, oksijen molekülünün CdS yüzeyindeki adsorpsiyonuna bağlamak mümkündür.

Örneklerin kristal yapılarına gelince X ışınları difraktometresi ile yapılan ölçmelerde, tüm örneklerin (C111) düzleminde tercihli yönlenmeleri olduğu gözlemlendi. Bu konudaki literatür verileri şöyle özetlenebilir; Lind ve Bube (1962) solüsyondan elde edilen CdS'ün sadece kübik, Shikalgar, Pawar (1979, 1979), Pavaskar, Menezes, Sinha (1977) % 90 kübik, % 10 hekzagonal yapıda olduğunu gözlediler. Bu veriler deneyimizle uyum içindedir. 150°C'deki tavlama sıcaklığında yapının biraz değiştiği diğerleri kadar belirgin olmayan bir kübik yapının varlığı görüldü. Bunu, bu sıcaklıkta S'ün çıkışı ile kristal yapının bozulmasına bağlamak mümkün olabilir.

Yaşlanmaya bağlı olarak optik geçirgenlik ölçüldüğünde Bölüm.V.1.c'de anlatıldığı gibi uzun sürede (v1.5 yıl)

450 nm. kalınlıktaki filmde 350 nm. kalınlıktaki filme göre optik geçirgenliğin arttığı gözlenmiştir (Şek.V.12 ve 13).

300°C'da tavlansarak hızlı ve yavaş soğutulmuş filmler gözönüne alındığında, hızlı soğutulan filmin optik geçirgenliğinin % 8 civarında arttığı gözlenmiştir (Şek.V.14 ve 15). Bu konularda literatür verilerine rastlanmamıştır ve daha etraflı incelenmesi gerekir.

Çalışmada geçirgenlik değerlerinden yararlanılarak üç farklı kalınlık için hesaplanan kırılma indisi değerleri Ferguson, Gottesman(1954), Kuwabara(1954), Hall, Ferguson (1955) Keha (1978), Shikalgar, Pawar(1979) ile tam bir uyum içindedir.

Film kalınlığı arttıkça indisin de arttığı Şek.V.14' de görülmektedir. Bu da literatür verileri ile uyumaktadır.

Şek.V.15'de görülen söndürme indisinin dalga boyuna göre değişimi eğrileri yine yukarıdaki literatürlerle uyum içindedir.

Söndürme indisi bilinen örneklerin absorpsiyon katsayıları hesaplandı. Şek.V.17'den görüleceği gibi absorpsiyon katsayısı $\sim 2,2$ eV'da kadar 10^4 cm^{-1} değerinde kalıp, 2,3 - 2,4 eV'da hızla artarak, $\sim 2,7$ eV'da 10^5 cm^{-1} değerine varmaktadır. Bu değerler de Dutton (1959), Shalimova (1969),

Bleha (1970), Keha (1978), Shikalgar, Pawar (1979)'un verileri ile uyuşur.

CdS direkt geçişli bir yarı iletken olduğundan, yasak enerji aralığı Şek.V.18'de görülen $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ eğrisinin ekstrapolasyonu ile bulundu. (Stasenko 1968, Bube 1960, Couve 1973). Çalışmada bulunan yasak enerji aralığının film kalınlığına bağlı olarak değiştiği, kalınlık azaldıkça yasak enerji aralığı değerinin arttığı gözlemlendi. Bu gözlem Sandomirski (1965)'nin verdiği ve CdS için Stasenko (1968) tarafından hesaplanan verilere uymaktadır. Cet. V.1 çalışmada bulunan yasak enerji aralığı değerlerini literatür değerleri ile birlikte toplu olarak vermektedir.

Stasenko	1	2,53
F.Keha (1978)	250	2,40 ₁ ± 0,04 ₇
F.Tepchan (Keha)	150	2,45 ₁ ± 0,06 ₃
F.Tepchan (Keha)	310	2,40 ₁ ± 0,06 ₂
F.Tepchan (Keha)	480	2,35 ₃ ± 0,05 ₇

Cet. VI.1 - Deneyde bulunan ve bazı araştırıcıların
tarafından verdikleri yasak enerji aralığı değerleri :

İsim		Kalınlık(nm.)	E_v (eV)
Dunlap	(1957)	Masif	2,40
Bube	(1960)	Masif	2,40
Berglund	(1966)	Masif	2,40
Shalimova	(1961)	Masif	2,42
Shalimova	(1969)	-	2,35
Sathaye	(1976)	1000	2,30
Stasenko	(1968)	0,58	2,63
Stasenko		0,71	2,58
Stasenko		1	2,53
F.Keha	(1978)	250	$2,40_1 \mp 0,04_7$
F.Tepehan (Keha)		150	$2,45_1 \mp 0,06_3$
F.Tepehan (Keha)		310	$2,40_1 \mp 0,06_2$
F.Tepehan (Keha)		480	$2,35_3 \mp 0,05_7$

CdS konusunda yapılacak çalışmalarda aşağıdaki noktaların gözönüne alınmasında yarar vardır :

1- Örneklerin özellikle 150°C'de fotoiletkenlik ve elektrik iletkenlikleri de incelenmeli,

2- CdS'ün katkılı haldeki özellikleri incelenmeli,

3- Uzun süre kullanılacak filmlerde zamanla olacak değişimler gözlenmeli ve uygun şartlar tesbit edilmeli,

4- Filmlerde meydana gelen faz değişimlerinin incelenmesi olaylara açıklık getirecektir.

5- Bu çalışmada kalınlık ölçmeleri sırasında farke edilen alimünyum'un CdS içine diffüze olması olayı incelemeye değer bir konu olarak gözükmektedir.

- Bujatti, M., 1968, Brit. J. Appl. Phys. (J. Phys. D.) 1, 983
- Bujatti, M., Marcolja, F., 1972, Thin Solid Films 11, 249
- Chandra, S., Pandey, R.K., Agrawal, R.C., 1980, J. Phys. D
(Appl. Phys.) 13, 1757
- Chopra, K., 1969, Thin Film Phenomena (McGraw-Hill) s.63
- Coutts, J.J., 1982, Thin Solid Films 90, 481
- K A Y N A K L A R
- Cruciani, E., Dimitrov, A., 1969, Soviet Phys. - Solid
State 12, 2001
- Abramov, A., 1971, Soviet Phys. - Solid State 12, 2001
- Akpınar, S., 1970, Katı Hal Fiziğinden Seçme Bahisler, s.28
- Akpınar, S., 1979, Yarı İletkenler Fiziği, s.104
- Bargale, B.B., Shikalgar, A.G., Pawar S.H., 1978, Indian J.
Phys. 52A, 305
- Bargale, B.B., Shikalgar, A.G., Pawar, S.H., 1979, Thin Sol.
Films 62, 215
- Beecham, D., 1970, Rev. Sci. Inst. 41, 1654
- Berglund, C., 1966, J. Appl. Phys. 37, 3019
- Bleha, W., 1970, Photolum. prop. of Vac. Dep. CdS Films
(Doktora tezi)
- Böer, K.W., Esbitt, A.S., Kaufman W.M., 1967, J. Appl. Phys.
37, 2664
- Brodin S.M., Strashnikova M.I., 1967, Soviet Phys - Solid
State. 8, 1772
- Bube, R.H., Thomson, J., 1955, J. Chem. Phys., 23, 15
- Bube, R.H., 1960, Photoconductivity of Solids (Wiley.
New York), s.224
- Bube, R.H. 1960, Photoconductivity of Solids (Wiley, New York),
s.233

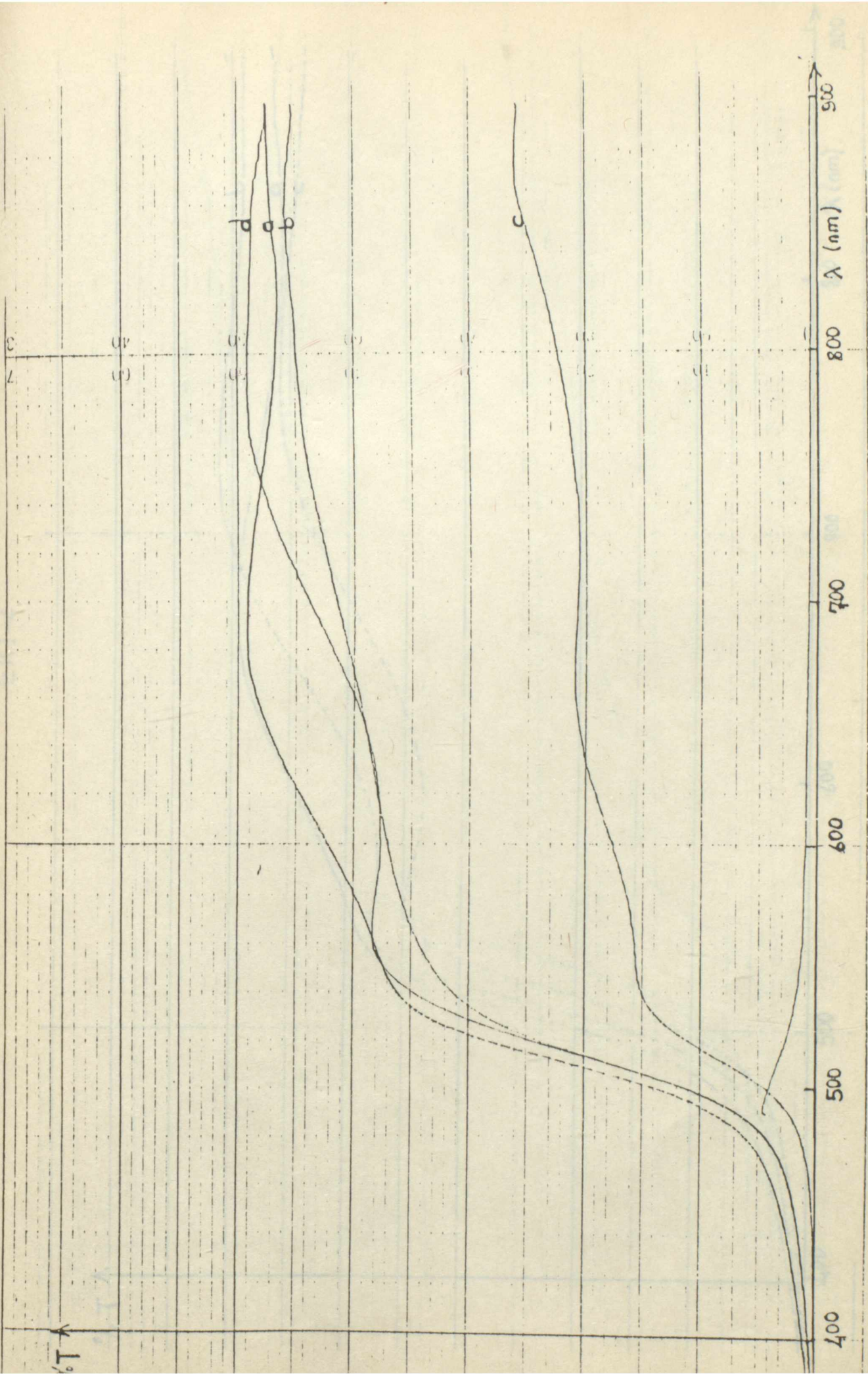
- Bujatti, M., 1968, Brit. J. Appl. Phys. (J.Phys.D.) 1, 983
- Bujatti, M., Marcelja, F., 1972, Thin Solid Films 11, 249
- Chandra, S., Pandey, R.K., Agrawal, R.C., 1980, J. Phys.D
(Appl. Phys.) 13, 1757
- Chopra, K., 1969, Thin Film Phenomena (McGraw-Hill) s.63
- Coutts, J.J., 1982, Thin Solid Films, 90, 451
- Cruceanu, E., Dimitrov, A., 1969, Soviet Phys. - Solid
State 11, 1389
- DeKlerk, J., Kelly, E.F., 1965, Rev.Sci. Instr. 36, 506
- Dunlap, C., 1957, An Introduction to Semiconductor (John
Wiley), s.309
- Dutton, D., 1958, Phys. Rev. 112, 785
- D'yakonov, A.M., Ilisavskii, Yu., V., 1970, Soviet Phys. -
Solid State, 11, 2110
- Fraser, D.B., Melchior, H., 1972, J.Appl. Phys., 43, 3120
- Freller, H., Günther, K.G., 1969, Thin Solid Films, 3, 417
- Goldenberg, Charakov, 1966, Phys. Rev., 8A, 100
- Goldschmidt, D., 1984, J.Opt. Soc. Am. 1, 275
- Gottesman, J., Ferguson, W.F.C., 1954, J.Opt. Soc. Am.
44, 368
- Günther, K.G., 1965, The Use of Thin Films in Physical
Investigations (Editör: J.C. Anderson), (Academic
Press) s.213
- Hall, J.F. Jr., Ferguson W.F.C., 1955, J. Opt. Soc. Am.
45, 714
- Harbeke, G., 1972, Optical Properties of Solids (Editör: F.
Abelés) (North-Holland Publishing Company) s.24

- Islam, M.N., Haque, M.A., 1982, J.Phys.D 15, 313
- Heavens, O.S., 1955, Optical Properties of Thin Solid Films
(Butterworths publications) s.106
- Heavens, O.S., 1955, Optical Properties of Thin Solid Films
(Butterworths publications) s.49
- Hill, R., Richardson, D., 1973, Thin Solid Films 18, 25
- Holland, L., 1970, Vacuum Deposition of Thin Films (Chapman
and Hall Ltd.) s.70
- Honda, M. Fujimori, M., 1972, Appl. Phys. Letters 21, 587
- Hopfield, J., 1961, Phys. Rev., 122, 35
- Jankowska, A., Tepek, M., 1980, Thin Solid Films 67, L5
- Kaur, I., Pandya, D.K., Chopra, K.L., 1980, J. Electrochem.
Soc. 943
- Keha, F., 1978, Lisansüstü tezi
- Kröger, A., 1940, Physica, 7, 1
- Kuwabara, G., 1954, J. Phys. Soc. Jap. 9, 992
- Kuwabara, G., 1954, J. Phys. Soc. Jap. 9, 97
- Lambe, J., 1955, Phys. Rev. 98, 985
- Lind, E.L., Bube, R.H., 1962, J. Chem. Phys. 37, 2499
- Litton, C.W., Reynolds, D.C., Collins, T.C., 1972, Phys.
Rev. B 6, 2269
- Ma, Y.Y., Fahrenbruch, A.L., Bube, R.H., 1977, Appl. Phys.
Letters, 30, 423
- Mao, J.S., Huang, T.L., Sung, M.F., Chang, Y., Chiue, S.C.,
1978, Rev. Sci. Inst. 49, 1359
- Markowich, I., Shcinkman, 1971, Soviet Physics - Solid
State 12, 2533

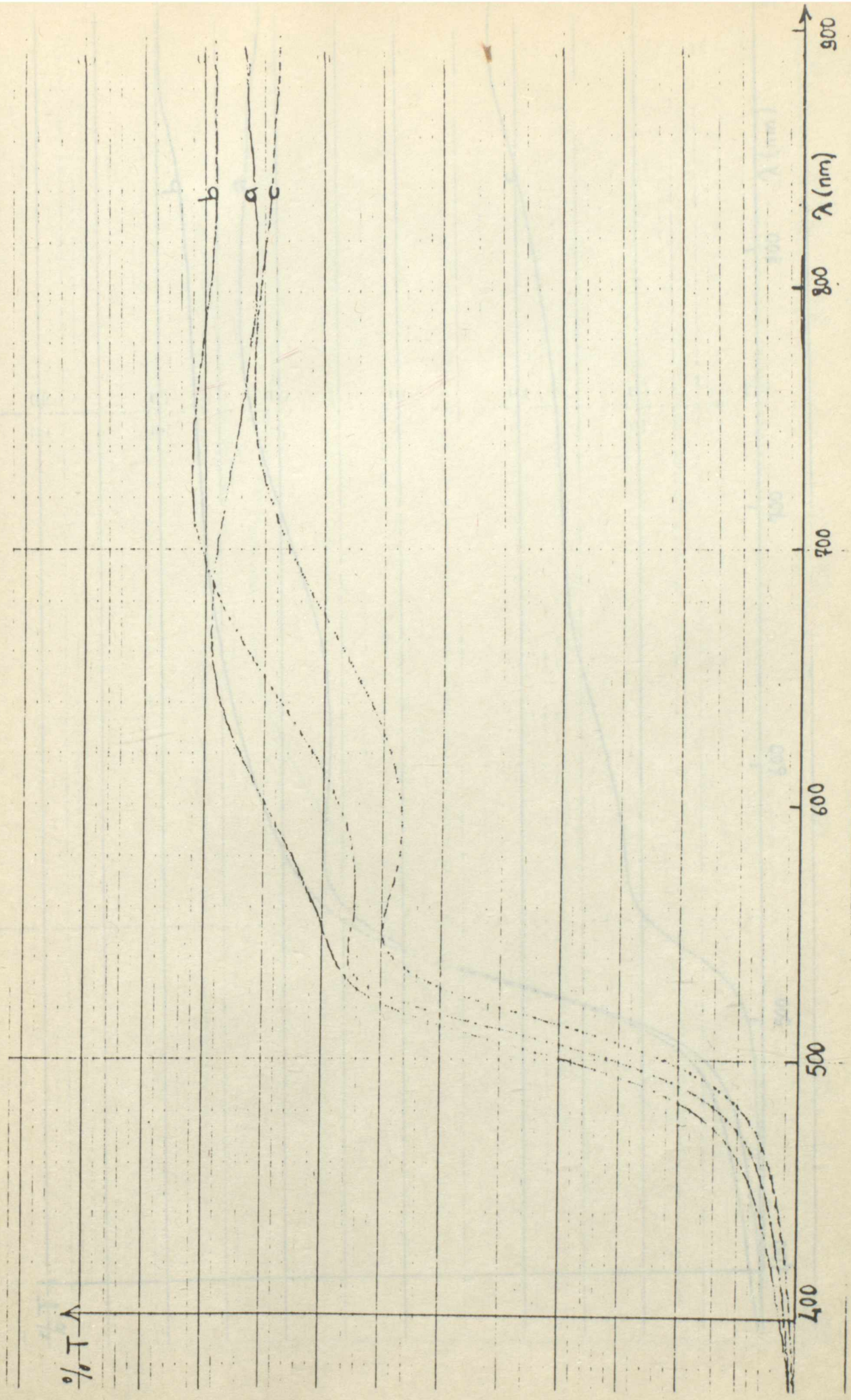
- Marshall, R., Mitra, S.S., 1964, Phys. Rev., 134A, 1019
- Martinez, G., Martinez, J.L., Zehe, A., 1982, Crystal Res. and Technol., 17, 1523
- Martinuzzi, 1975, Holiotechnique and Development, 588
- Mattox, D.M., 1976, J. Vac. Sci. Tech., 13, 1
- Mayer, H., 1950, Physik Dunner Schichten (Wissen. verlag.) s.154
- Medvedev, V.P., Skorniyakov, L.G., Betenekov, N.D., Drozdova, T.A., Kitaev, G.A., Brusnitsyna, L.A., 1978, Inorg. Mater. 14, 1393
- Mukhamed'yarov, R.D., Kitaev, G.A., Markova, V.M., Stuk, V.I., 1981, Inorg. Mater. 17, 1282
- Nagao, M., Watanabe, S., 1968, Jap. J. Appl. Phys. 7, 684
- Nicoll, F., Kazan, B., 1955, J. Opt. Soc. Am., 45, 647
- Ohata, K., Saraie, Tanaka, 1973, Japan J. Appl. Phys. 12, 1641
- Pado, G.S., Kobiyakov, I.B., Sysoev, L.A., 1969, Soviet Phys. - Solid State 11, 376
- Parada, Z., Schabowska, E., 1980, Thin Solid Films 66, L55
- Pavaskar, N.R., Menezes, C.A., Sinha, A.P.B., 1977, J. Electrochem. Soc. 124, 743
- Perov, P.L., Avdeeva, L.A., Zhadan, A.G., Elinson, M.I., 1968, Soviet Phys. - Solid State, 11, 65
- Reddy, G.B., Pandya, D.K., Chopra, K.L., 1982, Thin Solid Films, 90, 410
- Romeo, N., Sberveglieri, G., Tarricone, L., 1977, Thin Solid Films, 55, 413

- Saksena, S., Pandya, D.K., Chopra, K.L., 1982, Thin Solid Films, 94, 223
- Sandomirskii, V.B., 1963, Soviet Phys. - JETP 16, 1630
- Sathaye, S.D., Sinha, A.P.B., 1976, Thin Solid Films, 37, 15
- Shalimova, K.V., Travina, T.S., Golik, L.L., 1961, Soviet Phys. - Doklady 6, 396
- Shalimova, K.V., Khirin, V.N., 1969, Izv. Vuz. Fiz. 4, 97
- Shikalgar, A.G., Bargale, B.B., Pawar, S.H., 1977, Indian J. Pure and Applied Phys. 15, 747
- Shikalgar, A.G., Pawar, S.H., 1979, Thin Solid Films 61, 313
- Shikalgar, A.G., Pawar, S.H., 1979, Phil.Mag.B. 40, 139
- Shikalgar, A.G., Pawar, S.H., 1979, Solid State Commun, 32, 361
- Srivastava, R.S., Prakash, K., Badve, M.V., 1979, J. Appl. Phys. 50, 7245
- Stasenko, A.G., 1968, Soviet Phys. - Solid State 10, 186
- Tyagai, V.A., Bondarenko, V.N., 1970, Soviet Phys. - Solid State 11, 2496
- Tyagai, V.A., Bondarenko, V.N., Snitko, O.V., 1971, Soviet Phys. - Solid State, 12, 2039
- Ugai, Ya. A., Semenov, V.N., Averbakh, E.M., 1978, Inorg. Mater. 14, 1196
- Wendland, P., 1962, J. Opt. Soc. Am. 52, 581
- Wooten, F., 1972, Optical Properties of Solids (Acad Press) s.108
- Wu, C., Bube, R.H., 1974, J. Appl. Phys. 45, 648

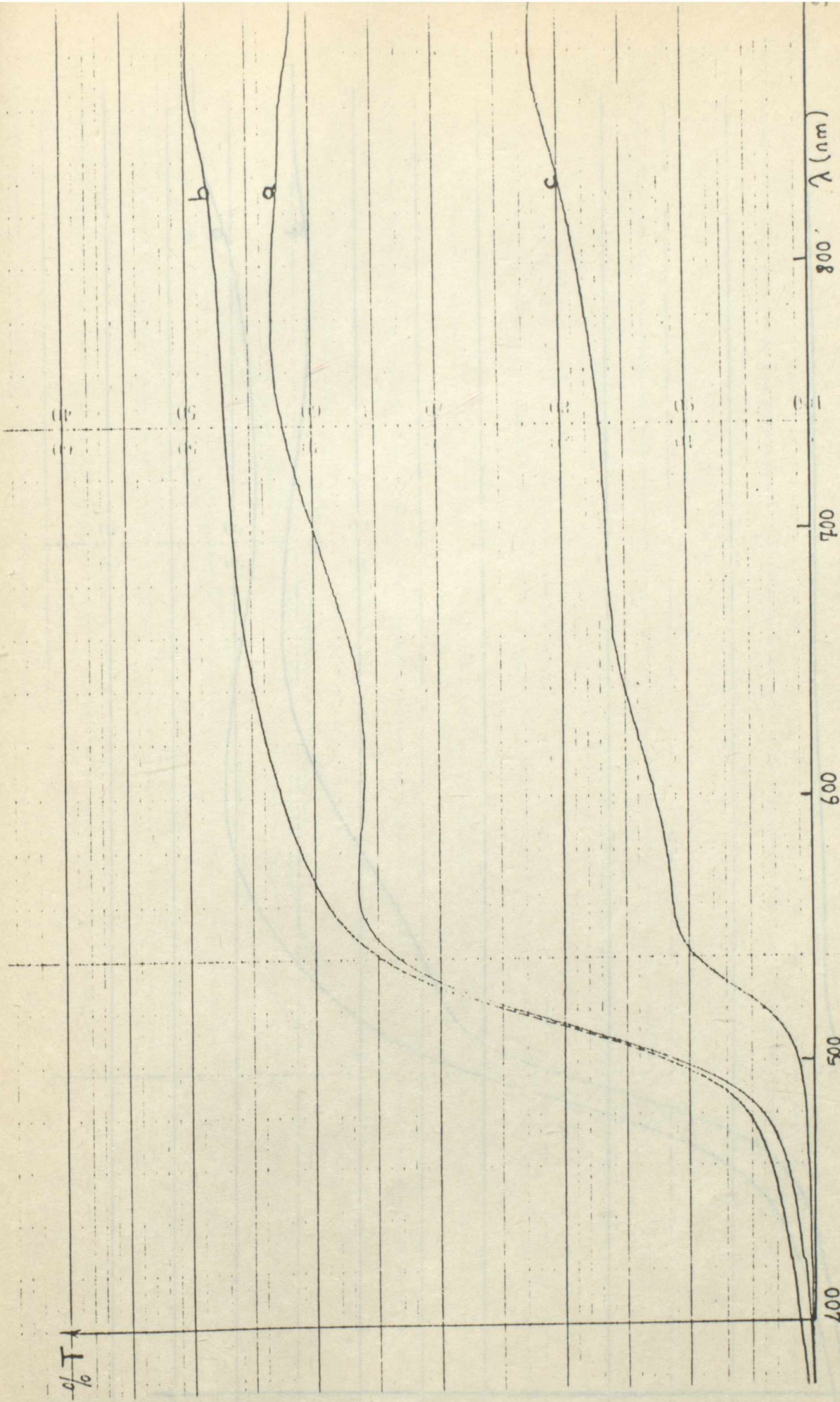
EKI.1



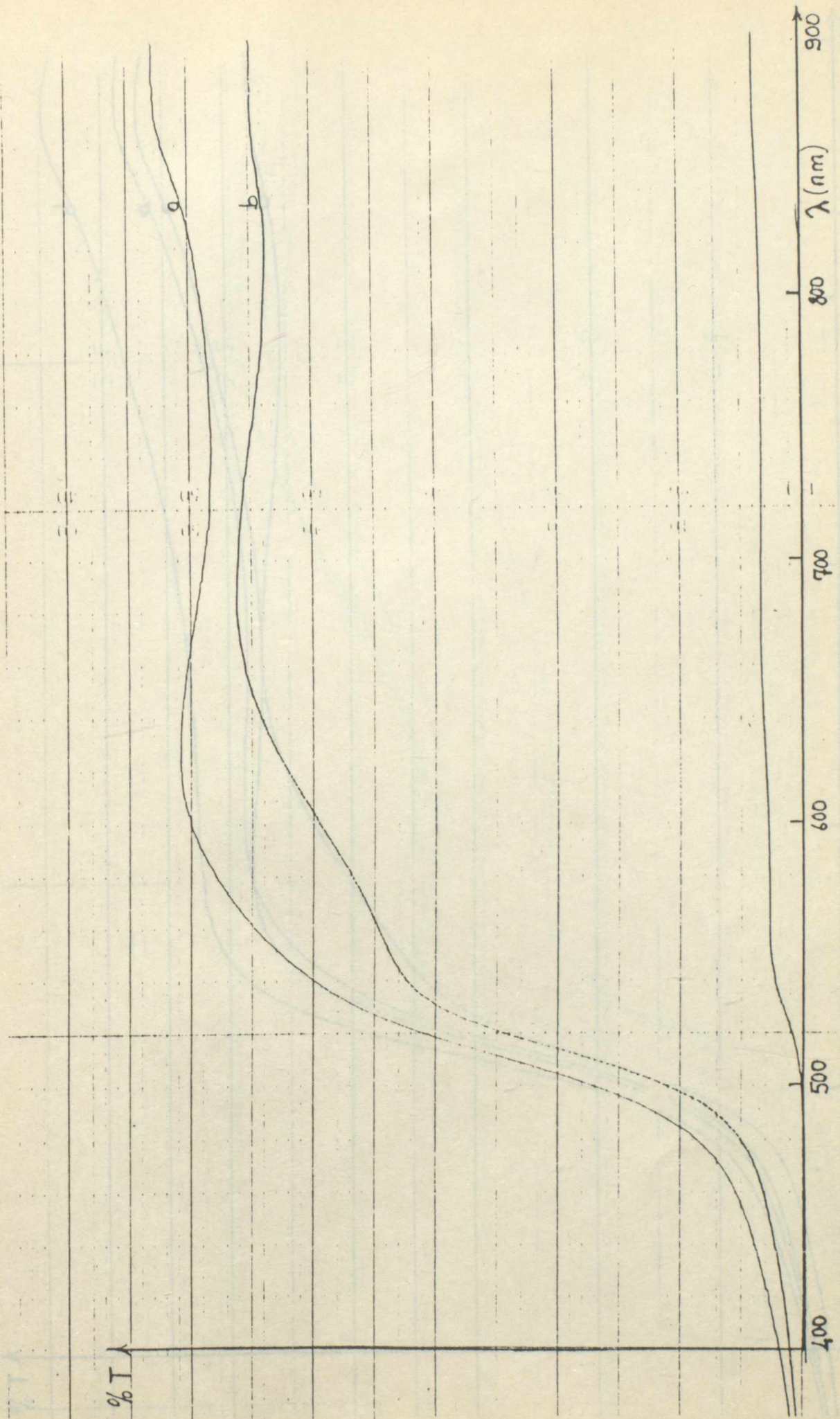
EKI-2



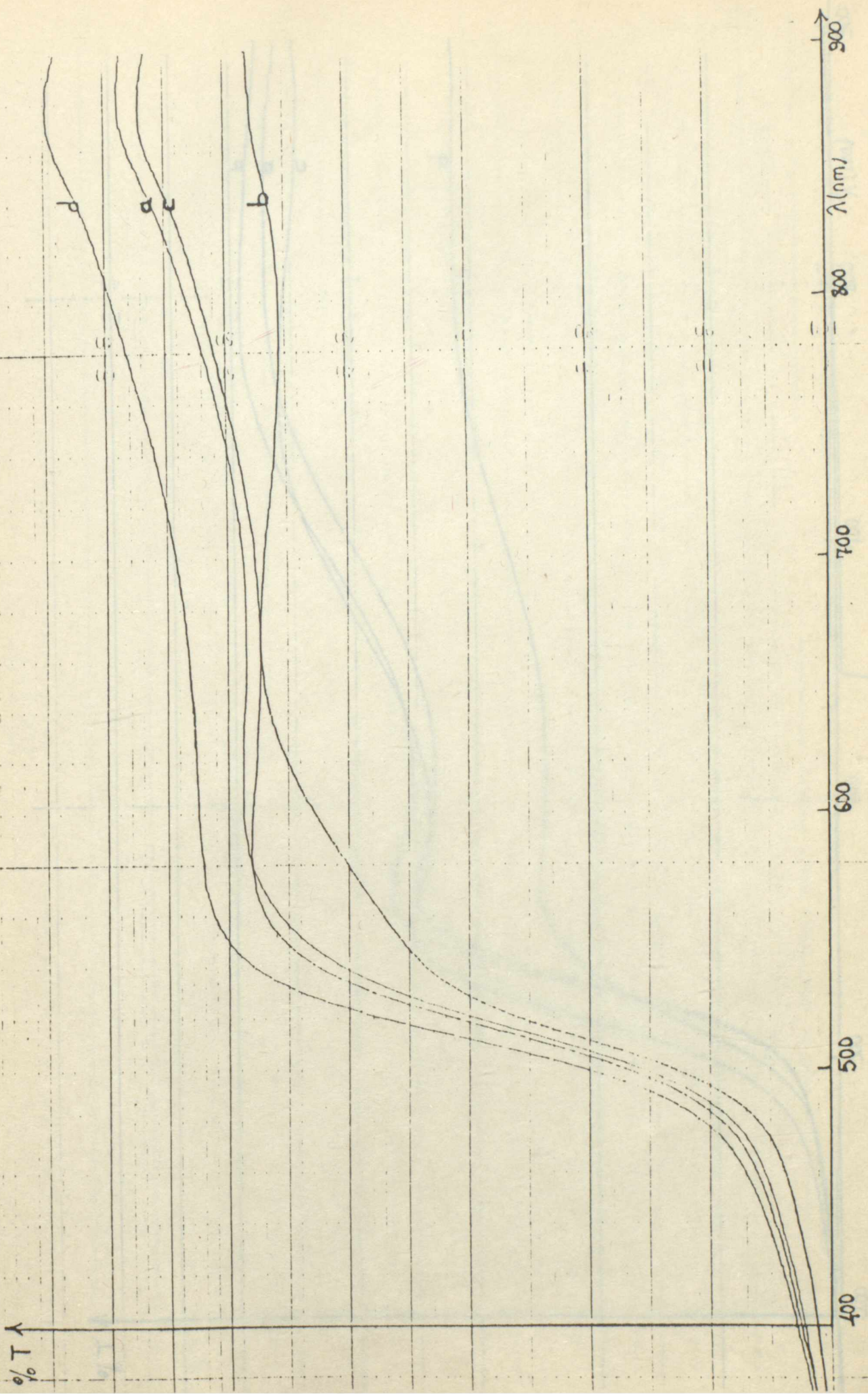
Ek I - 3



EKJ-4

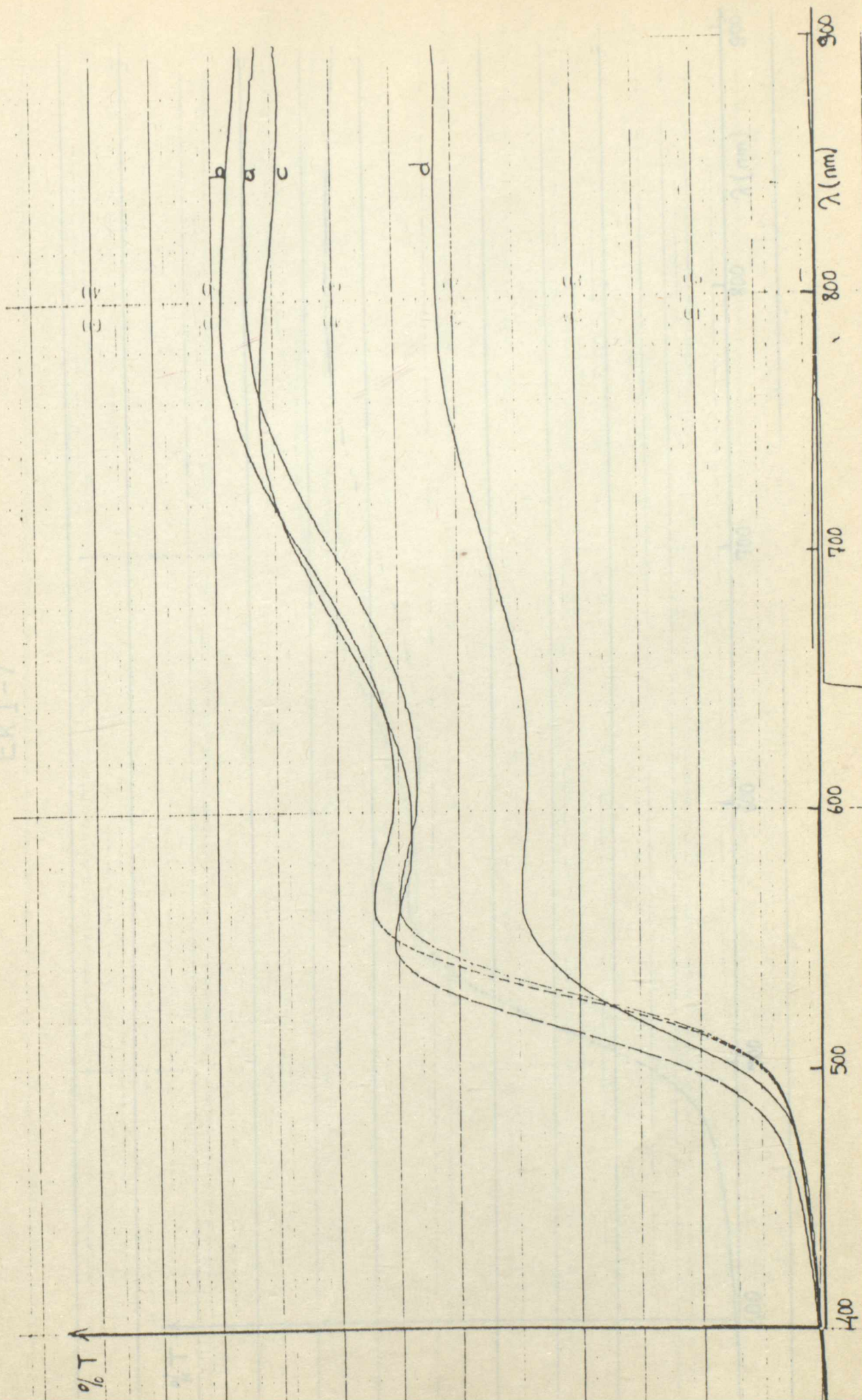


EKI-5

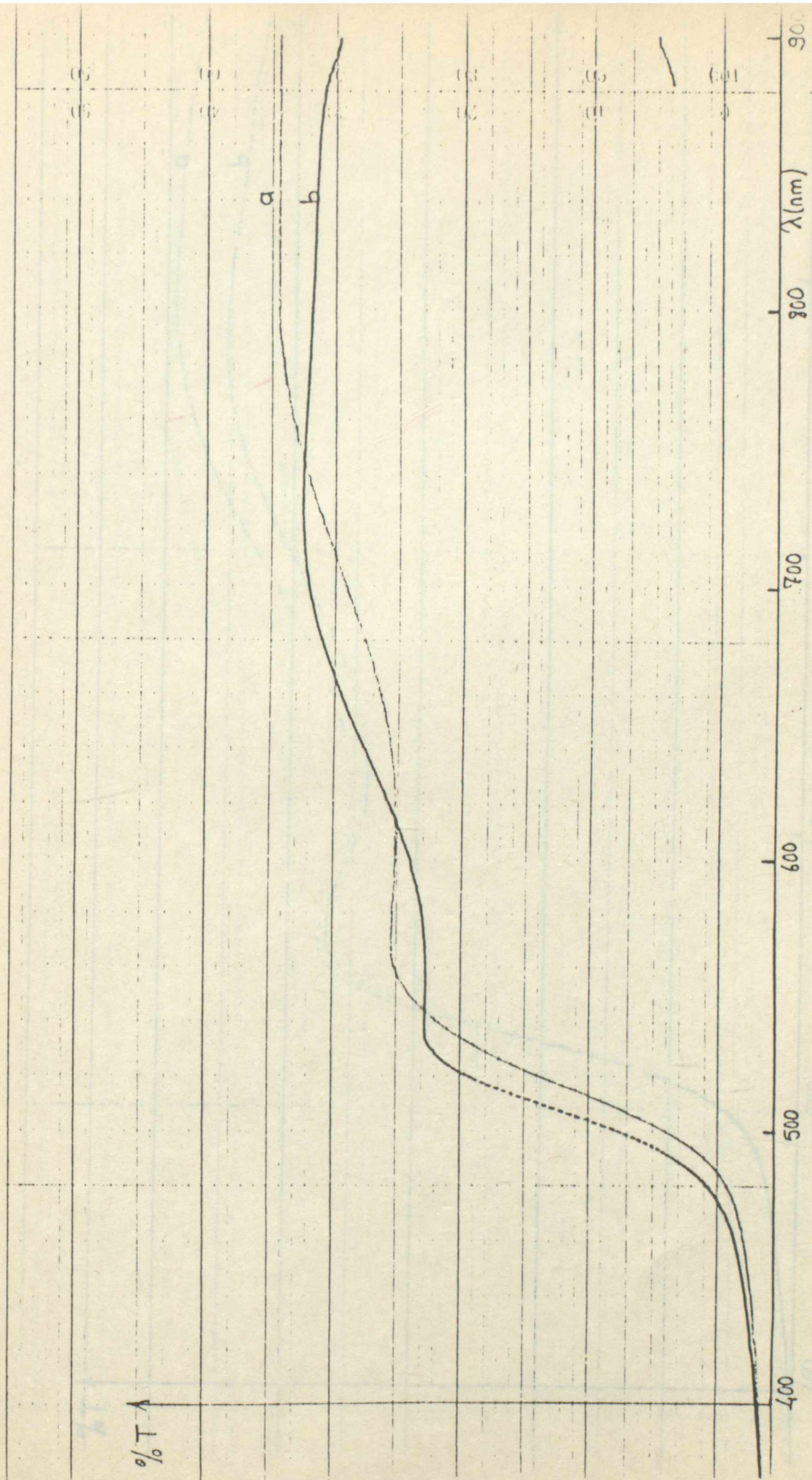


Ek I-6

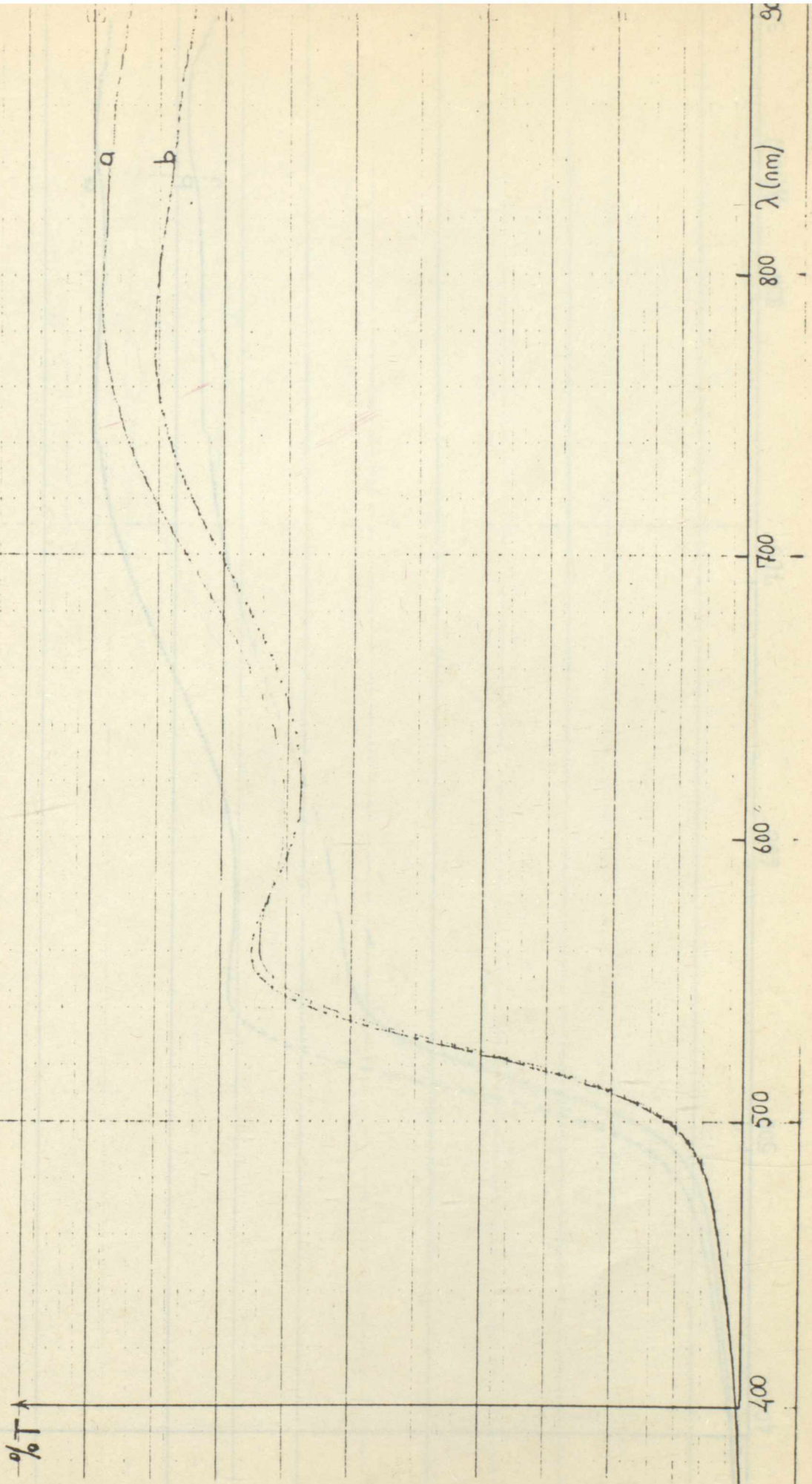
Ek I-7



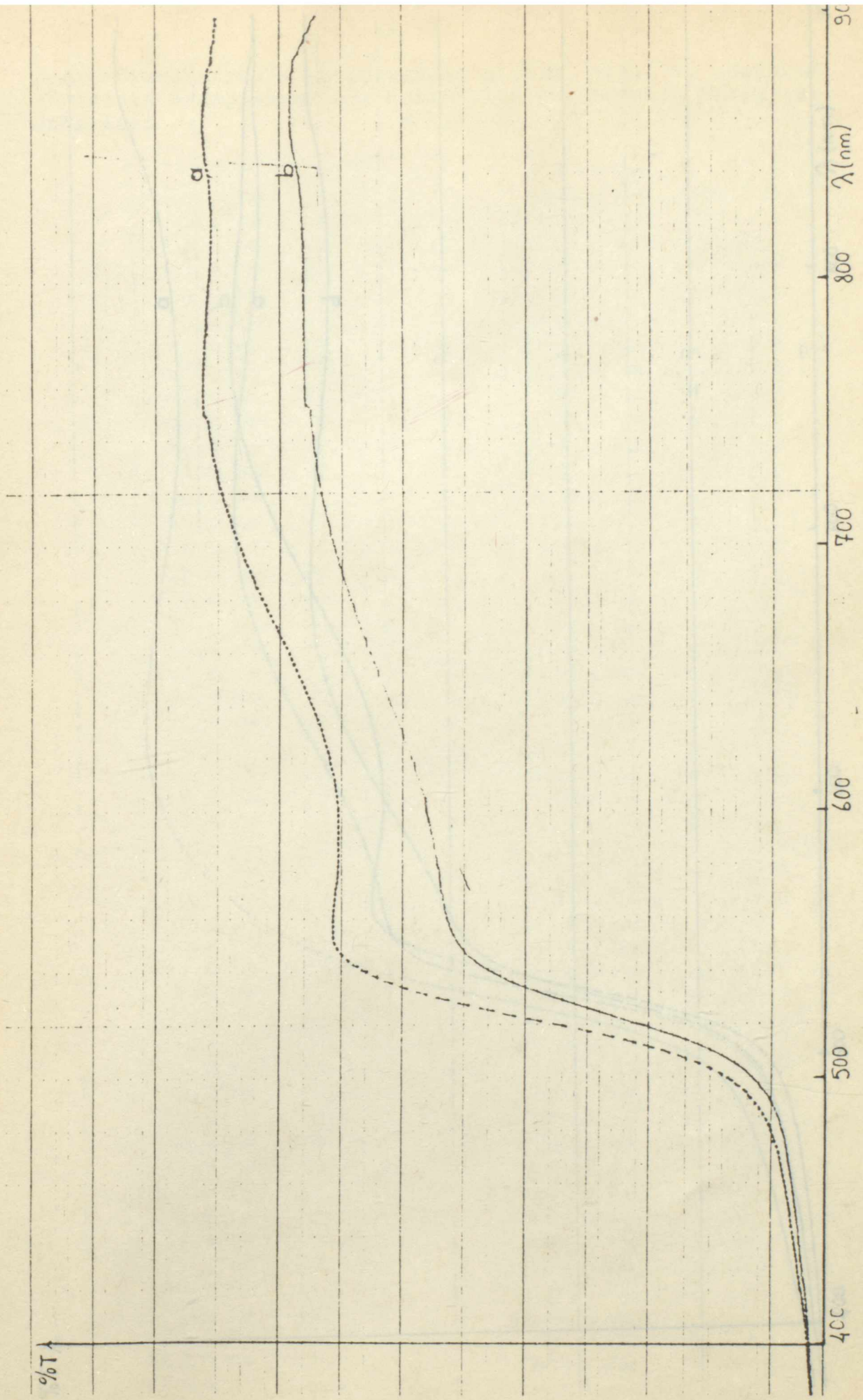
Ek I-8



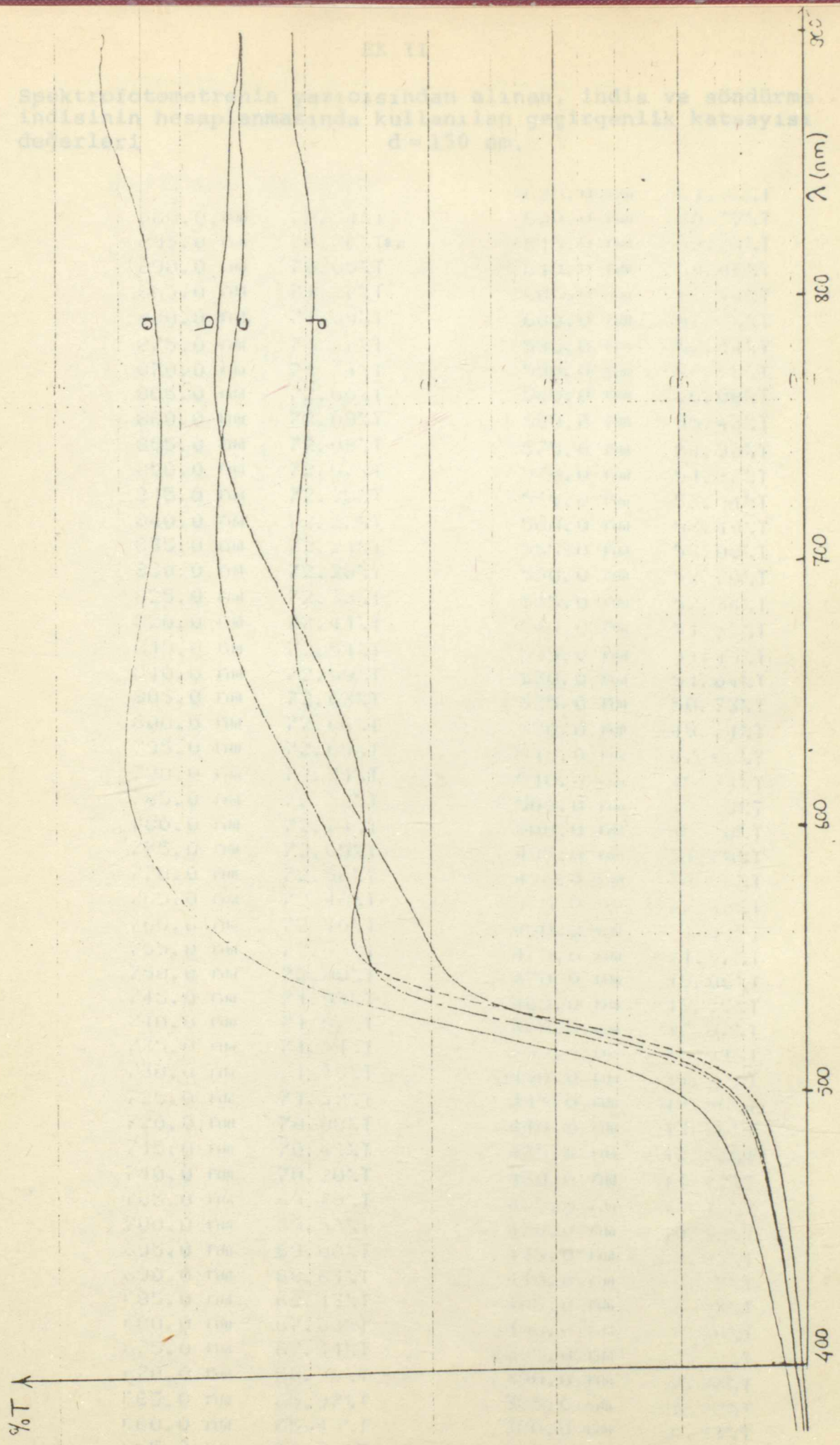
EKI-9



Ek I-10



L K I - II



Ek 11
Spektrofotometrinin ayarından alınan, indisi ve söndürme
indisinin hesaplanmasında kullanılan geçirgenlik katsayısı
değerleri
 $d = 150 \mu\text{m}$

Spektrofotometrenin yazıcısından alınan, indis ve söndürme indisinin hesaplanmasında kullanılan geçirgenlik katsayısı değerleri
d = 150 nm.

300.0 nm	70.94%T	625.0 nm	64.85%T
305.0 nm	70.90%T	630.0 nm	64.57%T
310.0 nm	70.85%T	635.0 nm	64.29%T
315.0 nm	71.27%T	640.0 nm	64.01%T
320.0 nm	71.24%T	645.0 nm	63.73%T
325.0 nm	71.21%T	650.0 nm	63.45%T
330.0 nm	71.18%T	655.0 nm	63.17%T
335.0 nm	71.15%T	660.0 nm	62.89%T
340.0 nm	71.12%T	665.0 nm	62.61%T
345.0 nm	71.09%T	670.0 nm	62.33%T
350.0 nm	71.06%T	675.0 nm	62.05%T
355.0 nm	71.03%T	680.0 nm	61.77%T
360.0 nm	71.00%T	685.0 nm	61.49%T
365.0 nm	71.97%T	690.0 nm	61.21%T
370.0 nm	71.94%T	695.0 nm	60.93%T
375.0 nm	71.91%T	700.0 nm	60.65%T
380.0 nm	71.88%T	705.0 nm	60.37%T
385.0 nm	71.85%T	710.0 nm	60.09%T
390.0 nm	71.82%T	715.0 nm	59.81%T
395.0 nm	71.79%T	720.0 nm	59.53%T
400.0 nm	71.76%T	725.0 nm	59.25%T
405.0 nm	71.73%T	730.0 nm	58.97%T
410.0 nm	71.70%T	735.0 nm	58.69%T
415.0 nm	71.67%T	740.0 nm	58.41%T
420.0 nm	71.64%T	745.0 nm	58.13%T
425.0 nm	71.61%T	750.0 nm	57.85%T
430.0 nm	71.58%T	755.0 nm	57.57%T
435.0 nm	71.55%T	760.0 nm	57.29%T
440.0 nm	71.52%T	765.0 nm	57.01%T
445.0 nm	71.49%T	770.0 nm	56.73%T
450.0 nm	71.46%T	775.0 nm	56.45%T
455.0 nm	71.43%T	780.0 nm	56.17%T
460.0 nm	71.40%T	785.0 nm	55.89%T
465.0 nm	71.37%T	790.0 nm	55.61%T
470.0 nm	71.34%T	795.0 nm	55.33%T
475.0 nm	71.31%T	800.0 nm	55.05%T
480.0 nm	71.28%T	805.0 nm	54.77%T
485.0 nm	71.25%T	810.0 nm	54.49%T
490.0 nm	71.22%T	815.0 nm	54.21%T
495.0 nm	71.19%T	820.0 nm	53.93%T
500.0 nm	71.16%T	825.0 nm	53.65%T
505.0 nm	71.13%T	830.0 nm	53.37%T
510.0 nm	71.10%T	835.0 nm	53.09%T
515.0 nm	71.07%T	840.0 nm	52.81%T
520.0 nm	71.04%T	845.0 nm	52.53%T
525.0 nm	71.01%T	850.0 nm	52.25%T
530.0 nm	70.98%T	855.0 nm	51.97%T
535.0 nm	70.95%T	860.0 nm	51.69%T
540.0 nm	70.92%T	865.0 nm	51.41%T
545.0 nm	70.89%T	870.0 nm	51.13%T
550.0 nm	70.86%T	875.0 nm	50.85%T
555.0 nm	70.83%T	880.0 nm	50.57%T
560.0 nm	70.80%T	885.0 nm	50.29%T
565.0 nm	70.77%T	890.0 nm	50.01%T
570.0 nm	70.74%T	895.0 nm	49.73%T
575.0 nm	70.71%T	900.0 nm	49.45%T
580.0 nm	70.68%T	905.0 nm	49.17%T
585.0 nm	70.65%T	910.0 nm	48.89%T
590.0 nm	70.62%T	915.0 nm	48.61%T
595.0 nm	70.59%T	920.0 nm	48.33%T
600.0 nm	70.56%T	925.0 nm	48.05%T
605.0 nm	70.53%T	930.0 nm	47.77%T
610.0 nm	70.50%T	935.0 nm	47.49%T
615.0 nm	70.47%T	940.0 nm	47.21%T
620.0 nm	70.44%T	945.0 nm	46.93%T
625.0 nm	70.41%T	950.0 nm	46.65%T
630.0 nm	70.38%T	955.0 nm	46.37%T
635.0 nm	70.35%T	960.0 nm	46.09%T
640.0 nm	70.32%T	965.0 nm	45.81%T
645.0 nm	70.29%T	970.0 nm	45.53%T
650.0 nm	70.26%T	975.0 nm	45.25%T
655.0 nm	70.23%T	980.0 nm	44.97%T
660.0 nm	70.20%T	985.0 nm	44.69%T
665.0 nm	70.17%T	990.0 nm	44.41%T
670.0 nm	70.14%T	995.0 nm	44.13%T
675.0 nm	70.11%T	1000.0 nm	43.85%T

d = 310 nm.

d = 480 nm.

900.0 nm	48.24%T
890.0 nm	48.17%T
880.0 nm	48.11%T
870.0 nm	48.05%T
860.0 nm	48.00%T
850.0 nm	48.12%T
840.0 nm	47.84%T
830.0 nm	47.72%T
820.0 nm	47.72%T
810.0 nm	47.79%T
800.0 nm	47.95%T
790.0 nm	48.12%T
780.0 nm	48.30%T
770.0 nm	48.48%T
760.0 nm	48.97%T
750.0 nm	49.29%T
740.0 nm	49.57%T
730.0 nm	49.81%T
720.0 nm	50.17%T
710.0 nm	50.41%T
700.0 nm	50.48%T
690.0 nm	50.51%T
680.0 nm	50.58%T
670.0 nm	50.65%T
660.0 nm	49.81%T
650.0 nm	48.89%T
640.0 nm	48.04%T
630.0 nm	47.09%T
620.0 nm	45.94%T
610.0 nm	44.68%T
600.0 nm	43.45%T
590.0 nm	42.21%T
580.0 nm	41.06%T
570.0 nm	40.04%T
560.0 nm	39.18%T
550.0 nm	38.37%T
540.0 nm	37.33%T
530.0 nm	36.28%T
520.0 nm	36.88%T
510.0 nm	28.20%T
500.0 nm	16.04%T
490.0 nm	10.46%T
480.0 nm	7.16%T
470.0 nm	5.08%T
460.0 nm	4.11%T
450.0 nm	3.27%T
440.0 nm	2.83%T
430.0 nm	2.40%T
420.0 nm	1.99%T
410.0 nm	1.67%T
400.0 nm	1.35%T
390.0 nm	1.14%T
380.0 nm	0.92%T
370.0 nm	0.78%T

900.0 nm	26.32%T
890.0 nm	26.14%T
880.0 nm	26.09%T
870.0 nm	26.07%T
860.0 nm	26.07%T
850.0 nm	25.99%T
840.0 nm	25.83%T
830.0 nm	24.45%T
820.0 nm	23.95%T
810.0 nm	23.49%T
800.0 nm	23.04%T
790.0 nm	22.77%T
780.0 nm	22.73%T
770.0 nm	22.64%T
760.0 nm	21.78%T
750.0 nm	21.62%T
740.0 nm	21.61%T
730.0 nm	21.40%T
720.0 nm	21.41%T
710.0 nm	21.48%T
700.0 nm	21.52%T
690.0 nm	21.52%T
680.0 nm	21.44%T
670.0 nm	21.36%T
660.0 nm	21.33%T
650.0 nm	21.36%T
640.0 nm	20.94%T
630.0 nm	19.87%T
620.0 nm	18.62%T
610.0 nm	17.27%T
600.0 nm	16.17%T
590.0 nm	15.02%T
580.0 nm	14.02%T
570.0 nm	13.02%T
560.0 nm	12.02%T
550.0 nm	11.02%T
540.0 nm	10.02%T
530.0 nm	9.02%T
520.0 nm	8.02%T
510.0 nm	7.02%T
500.0 nm	6.02%T
490.0 nm	5.02%T
480.0 nm	4.02%T
470.0 nm	3.02%T
460.0 nm	2.02%T
450.0 nm	1.02%T
440.0 nm	0.50%T
430.0 nm	0.42%T
420.0 nm	0.37%T
410.0 nm	0.33%T
400.0 nm	0.29%T
390.0 nm	0.25%T
380.0 nm	0.21%T

EK III

Indis ve söndürme indisini hesaplamak için kullanılan bilgisayar programı :

```

20  WRITE(6,102)
    READ(5,100) ENF,X,D,EL
    IF(ENF.LT.0.)GO TO 25
    ENT=1.22
    ENO=1.
100  FORMAT(2X,4F10.0)
    PI=3.14159265
    C12=((ENF+ENO)**2+X**2)*((ENF+ENT)**2+X**2)
    C22=((ENF-ENO)**2+X**2)*((ENF-ENT)**2+X**2)
    P2=2*((ENT**2+ENO**2)*(ENF**2+X**2)-(ENF**2+X**2)**2-ENO**2*
1  ENT**2-4*ENO*ENT*X**2)
    C2=4*X*(ENT+ENO)*(ENF**2+X**2-ENO*ENT)
    FM=10*ENO*ENT*(ENF**2+X**2)
    T=FM/(PI2*EXP(4*PI*X*(D/EL))+FM2*EXP(-(4*PI*X*(D/EL)))
1 +P2*COS(4*PI*ENF*(D/EL))+P2*SIN(4*PI*ENF*(D/EL)))
    WRITE(6,101)ENF,ENT,ENO,X,D,EL,T
    GO TO 20
101  FORMAT(2X,7F10.4)
102  FORMAT(2X,6X,3HENF,7X,3HENT,7X,3HENO,6X,3H  X,4X,3H  D,7X,3H  E
25  210X,3H  T)
    STOP
    END

```

