

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN ÖRGÜ DİNAMİĞİNİN
ADYABATİK BAĞ YÜKÜ MODELİ İLE İNCELENMESİ

129027

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sıtkı DUMAN

129021

Enstitü Anabilim Dalı: FİZİK

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İbrahim OKUR

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM ENSTİTÜLERİ
BOKSANTASYON BASKISI

MAYIS 2002

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN ÖRGÜ DİNAMİĞİNİN ADYABATİK BAĞ YÜKÜ MODELİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sıtkı DUMAN

Enstitü Anabilim Dalı: Fizik
Enstitü Bilim Dalı: Katıhal Fiziği

Bu tez 08/25/2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı
Yrd. Doç. Dr. İbrahim OKUR

.....
Jüri Üyesi
Prof. Hamdi ARIKAN

.....
Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Yusuf KARAKUŞ

TEŞEKKÜR

Lisansüstü çalışmalarında danışmanlığımı üstlenip, yüksek lisans konusunun belirlenmesinden, tamamlanmasına kadar geçen sürede ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Hüseyin Murat TÖTÖNCÖ ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim OKUR' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Lisansüstü ders dönemi süresince engin bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim fizik bölümünün bütün hocalarına da Őükranlarımı sunarım.

Tez döneminde yardımlarını eksik etmeyen ve çalışmalarım sırasında göstermiş oldukları anlayıőtan dolayı da mesai arkadaşlarım, Arő. Gör. Adil BAŐOĐLU, Arő. Gör. Filiz ERTUĐRAL ve Arő. Gör. Metin ASLAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca tez yazımındaki yoğunluğumda göstermiş olduğu tahammöl ve vermiş olduğu destekten dolayı eşime teşekkür ederim.

Sıtkı DUMAN

İÇİNDEKİLER

| | |
|------------------------------|------|
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | vi |
| ÖZET..... | vii |
| SUMMARY..... | viii |

BÖLÜM 1

| | |
|------------|---|
| GİRİŞ..... | 1 |
|------------|---|

BÖLÜM 2 HOMOPOLAR VE HETEROPOLAR YARIİLETKENLERİN ÖRGÜ DİNAMİĞİ HESAPLAMA METODLARI

| | |
|--|----|
| 2.1 Yarıiletkenlerin Örgü Dinamiği Hesaplama Metodlarının Gelişimi | 5 |
| 2.2 Born-Von Karman Model..... | 9 |
| 2.3 Rijit İyon Model | 13 |
| 2.4 Değerlik Kuvvet Modeli..... | 15 |

BÖLÜM 3 ADYABATİK BAĞ YÜKÜ MODELİ (BCM)

| | |
|--|----|
| 3.1 Adyabatik Bağ Yükü Modelinin Tanımlanması..... | 17 |
| 3.2 Adyabatik Bağ Yükü Modelinde Radyal Etkileşmeler..... | 19 |
| 3.2.1 İyon-iyon etkileşmesi kuvvet sabiti matrisleri | 23 |
| 3.2.2 İyon-bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisleri | 26 |
| 3.2.3 Bağ yükü-bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisleri..... | 29 |
| 3.3 Bağ Bükülmesi Kuvvetleri..... | 32 |
| 3.3.1 Bağ bükülmesi etkileşim matrisinin tanımlanması..... | 32 |
| 3.3.2 Bağ yükü-bağ yükü etkileşimi Keating kuvvet sabiti matrisleri..... | 34 |
| 3.3.3 İyon – bağ yükü etkileşimi Keating kuvvet sabiti matrisleri..... | 36 |
| 3.4 Coulomb Etkileşmeleri..... | 37 |
| 3.5 Birim Hücrenin Toplam Enerji Hesaplamaları..... | 39 |
| 3.6 BCM için C-Tipi Matrisin Oluşturulması..... | 43 |

BÖLÜM 4 DENEYSEL TEKNİKLER

| | |
|---|----|
| 4.1 Nötron Saçılması..... | 44 |
| 4.1.1 Nötronların elastik olmayan saçılması..... | 45 |
| 4.1.2 Nötron saçılmasının avantajları..... | 47 |
| 4.1.3 Nötron saçılmasının dezavantajları..... | 47 |
| 4.2 Fotonların Elastik Olmayan Saçılması..... | 47 |
| 4.2.1 Raman saçılmasının avantajları ve dezavantajları..... | 52 |

BÖLÜM 5 SONUÇLAR

| | |
|--|----|
| 5.1 Giriş..... | 53 |
| 5.2 III-N Tipi Yarıiletkenlerin Hesaplanan Fonon Dispersiyon Eğrileri ve Yorumları..... | 54 |
| 5.3 Durum Yoğunluğu Eğrileri Hesaplama Metodu, Hesaplanan Durum Yoğunluğu Eğrileri ve Yorumları..... | 58 |
| 5.3.1 Kök örnekleme metodu (Root sampling metod)..... | 58 |
| 5.3.2 Hesaplanan durum yoğunluğu eğrileri ve yorumları..... | 59 |
| 5.4 Hesaplanan Fonon Frekansların Titreşim Vektörleri..... | 63 |

BÖLÜM 6 TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....67

KAYNAKLAR.....68

EK A III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN HESAPLANAN FONON

FREKANSLARI.....72

EK B III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN HESAPLANAN FONON

SPEKTRUMLARI.....140

ÖZGEÇMİŞ.....143

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-----------------------------------|---|
| a | Örgü Sabiti |
| $\phi(a)$ | Komşu İki Atom Arasındaki Enerji |
| N | Kristalde Bulunan Hücre Sayısı |
| u | Yerdeğiştirme |
| ω | Frekans |
| α | Merkezi Etkileşim Kuvvet Sabiti (Değerlik Kuvvet Modeli için) |
| B_s | Merkezi Olmayan Etkileşim Kuvvet Sabiti |
| r_{oi} | i 'inci Atomun Konum Vektörü |
| Φ_0 | Kristalin Denge Durumunun Potansiyel İfadesi |
| $\Phi_{\alpha\beta}(lb; l'b')$ | Atomik Kuvvet Sabiti |
| q ve k | Dalga Vektörü |
| $\phi_{bb'}$ | b ve b' İyonlarının Etkileşim Potansiyel Enerjisi |
| $\phi_{bb'}^R(r)$ | Kısa Menzil Etkileşim Potansiyel Enerjisi |
| α_m | Madelung Sabiti |
| Ω | Kristal Hacmi |
| Δ | Merkezi İyon |
| $V_{bb'}^{(\Delta)}$ | Keating Potansiyeli |
| $-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j)$ | Keating Kuvvet Sabiti |
| $\phi_{bb'}^C$ | Coulomb Potansiyeli |
| $C_{\alpha\beta=x,y,z}^C(bb'; q)$ | Radyal Etkileşim Coulomb Toplam Matrisi |
| LA | Boyuna Akustik Dalga |
| TA | Enine Akustik Dalga |
| LO | Boyuna Optik Dalga |
| TO | Enine Optik Dalga |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| 1.1 Bir boyutta lineer zincir..... | 1 |
| 1.2 Bir boyutta iki atomlu lineer zincirde optik ve akustik modlar..... | 2 |
| 2.1 Kabuk modelin şematik diagramı..... | 6 |
| 2.2 Elmas yapı..... | 9 |
| 2.3 Çinko sülfür (Zinc blende) yapı..... | 9 |
| 2.4 FCC(Yüzey merkezli yapı)..... | 10 |
| 3.1 III-V tipi yarıiletkenlere ait BCM birim hücresi..... | 18 |
| 3.2 BCM birim hücresinde bağ bükülmesi..... | 33 |
| 4.1 Nötronların elastik olmayan saçılması..... | 47 |
| 4.2 Fotonların elastik olmayan saçılmasında soğurma ve salma olayları..... | 50 |
| 4.3 Elmas kristalinin Raman spektrumu..... | 51 |
| 4.4 Elmas kristalinin Brillouin spektrumu..... | 52 |
| 4.5 Stokes ve Antistokes olayları..... | 52 |
| 5.1 Yüzey merkezli yapının birinci Brillouin bölgesi..... | 53 |
| 5.2 InN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi..... | 54 |
| 5.3 GaN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi..... | 55 |
| 5.4 AlN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi..... | 56 |
| 5.5 BN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi..... | 57 |
| 5.6 InN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi..... | 59 |
| 5.7 GaN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi..... | 60 |
| 5.8 AlN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi..... | 61 |
| 5.9 BN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi..... | 62 |
| 5.10 InN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri..... | 63 |
| 5.11 GaN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri..... | 64 |
| 5.12 AlN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri..... | 65 |
| 5.13 BN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri..... | 66 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: III-N grubu yarıiletkenler, bağ yükü (BC), örgü dinamiği, kısa menzil etkileşimleri, Coulomb etkileşimleri

III-N grubu yarıiletkenler diğer bileşikler yanında optoelektronik ve ısıl özellikleri yönüyle özel bir yer tutarlar. Bu yarıiletkenler çinko-sülfür (zinc-blende) ve hegzagonal wurtzide yapıda bulunabilirler. Yarıiletkenlerin ısıl ve elektronik özelliklerinin anlaşılması için öncelikle ele alınan materyalin örgü dinamiğinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada III-N tipi yarıiletkenler olan InN, BN, AlN, GaN bileşiklerinin örgü dinamiği adyabatik bağ yükü modeli ile incelendi. Bu inceleme sonuçları verilmeden önce örgü dinamiği hesaplamalarında kullanılan diğer modeller olan Born-Von Karman modeli, değerlik kuvvet modeli, kabuk modeli ve rijit iyon modeli tanıtıldı. Adyabatik bağ yükü modeli ilk olarak Phillips ve Martin tarafından ortaya atıldı. Bu modele göre elektronların yoğunlaşma noktaları olarak alınan bağ yükleri iyonlar yanında kütesiz kabul edildi. Bağ yükleri homopolar yarıiletkenlerde bağın tam ortasında, heteropolar yarıiletkenlerde ise elektronegatifliği yüksek olan iyonla yakın olacak şekilde konumlanırlar.

III-N tipi yarıiletkenler için yapılan bu çalışmada üç temel etkileşim göz önüne alındı. Bunlar; Coulomb etkileşimleri (iyon-iyon, iyon-bağ yükü, bağ yükü bağ yükü), kısa menzil etkileşimleri (iyon-iyon, iyon-bağ yükü, bağ yükü-bağ yükü) ve merkezi olmayan (bağ bükülmesi) etkileşimleridir. Bu etkileşimlerin hesaplanması sonucu bulunan fonon dispersiyonu, durum yoğunluğu eğrileri ile titreşim vektörleri verilmiştir.

SUMMARY

An Investigation of III-N Type Semiconductors' Lattice Dynamics Adiabatic Bond Charge Model

Keywords: III-N nitrides, bond charge, lattice dynamics, short range interactions, coulomb interaction, bond charge model

Group-III nitrides hold a special place among materials, mainly due to their desirable optoelectronic and thermal properties. These materials crystalline in cubic zinc-blende as well as hexagonal wurtzite phases. A thorough understanding of lattice dynamics of both phases is of importance both at the fundamental level as well as in determining thermal and electronic properties of these materials.

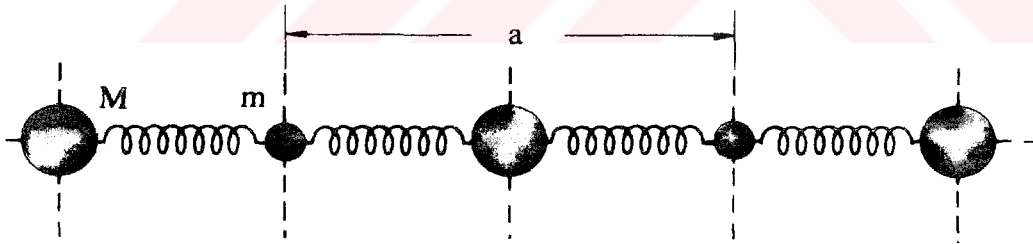
In this work, we have studied the lattice dynamics of zinc-blende phases of GaN, AlN, BN and InN using the adiabatic bond charge model. The theories of the Born-Von Karman model, the valence force model, the shell model and rigid ion model are explained. We then study lattice dynamics of group III nitrides using the adiabatic bond-charge model. The adiabatic bond charge model is mainly based on the bond-charge model of Phillips and Martin. According to this model the BCs are allowed to move adiabatically, whereas in the bond-charge model of Phillips and Martin they are always located midway between the two ions for homopolar semiconductors. In zincblende material groups the BC is shifted towards the more electronegative species. The adiabatic bond charge model proposed by Weber [17] is considered to be physically appealing that computationally much less demanding.

In this study, for the lattice dynamics of group-III nitrides three types of interactions are considered; Coulomb interaction between particles (ion-ion, ion-bc and bc-bc), short-range interactions (ion-ion, ion-bc, bc-bc) and non-central (or bond bending) interaction of Keating type between bond charges, as well as between ions and bond charges. In the last chapters the phonon spectra, density of states and vibrational vector for nitrides have been given.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Atomların üç boyutta simetrik olarak dizildikleri yapılar katıhal fiziğinde kristal olarak adlandırılır. Bu yapıları daha iyi tanımlayabilmek için örgü adı verilen, atomların üzerinde konuşlandırıldığı sanal noktalar grubu kabul edilir. Kristal atomları simetrik olarak dizildikleri için öteleme simetrisine sahiptirler. Öteleme simetrisi, bir örgü noktasından örgü sabiti (en yakın iki atom arası uzaklık) mertebesinde hareket edildiğinde aynı özellikte başka bir örgü noktasına varacağımız anlamını taşır.

Katıhal fiziğinde örgü dinamiği konusu ilk olarak tek atomlu örgü (Şekil 1.1) titreşimlerinin incelenmesi ile başlar. Örgü sonsuz uzunluktadır fakat etkileşme öncelikle en yakın komşu atomlar arasında olacağından bu etkileşmeler göz önüne alınır ve en yakın komşu etkileşmesi olarak adlandırılır. Atomların denge konumunda birbirlerine olan uzaklıkları örgü sabiti (a) kadardır.



Şekil 1.1 Bir boyutta lineer zincir

İki komşu atom arası enerji $\phi(a)$ ise N atomlu zincirin toplam enerjisi

$$E = N\phi(a) \quad (1.1)$$

ile verilir.

Tek atomlu lineer bir zincirde a'ya karşılık küçük yerdeğişmeler (u) için toplam enerji ifadesi taylor serisi kullanılarak;

$$E = N\phi + \sum_{i \geq 1} \frac{1}{i!} \frac{\partial^i \phi}{\partial u^i} \sum_n (u_n - u_{n+1})^i \quad (1.2)$$

olacak şekilde yazılır. Seri olarak verilen bu enerji ifadesi bir noktada sonlandırılarak sonuca gidilir; bu da $i=2$ olacak şekilde seçilir. Bu seçime *harmonik yaklaşıklık* denir. Bunun sebebi örgünün enerji hesabının harmonik osilatörün enerji hesabıyla aynı olmasından dolayıdır. Enerji ifadesinde $i=2$ 'den sonraki terimler harmonik olmayan (anharmonik) terimler olarak isimlendirilirler. Bu yaklaşıklığın kullanılması şu avantajları sağlar:

1. Bu ifade bir sonuç çıkarmak için matematiksel olarak uygundur.
2. Bu yaklaşıklıkla pek çok fiziksel sistem tanımlanabilir.
3. Karmaşık problemleri daha basite indirgeyerek çözümlenmek mümkün olur.

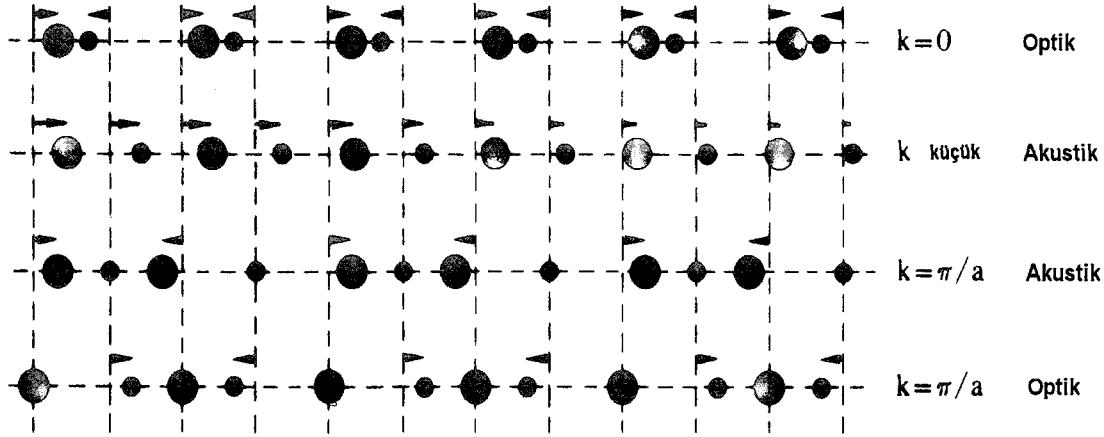
Farklı iki atom içeren bir boyutta atomik zincirde, büyük kütleli atomların birbirine doğru hareketiyle oluşan akustik mod, diğer hareketler sonucu oluşan optik mod olmak üzere iki farklı mod vardır (Şekil 1.2). Bunlardan optik modun titreşim enerjisi akustik moda göre daha fazladır. Akustik ve optik modlardan her biri enine ve boyuna titreşim olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Bu titreşimlerden titreşim yönü dalga vektörüne paralel olan boyuna, titreşim yönü dalga vektörüne dik olan ise enine titreşim olarak adlandırılır.

Bünyesinde p atom bulunduran üç boyutlu kristal için $3p$ adet mod oluşur. Bunlardan üç tanesi akustik, $3p-3$ tanesi ise optik moddur. Bu modların üç boyutta hesaplanabilmesi için 3×3 'lük matrise ihtiyaç duyulur.

Örgü dalgasının kuantumlu enerjisi;

$$E = \hbar\omega \quad (1.3)$$

ile verilir ve fonon adımı alır. Bu titreşim enerjisi yalnızca $\hbar\omega$ olarak artar ya da azalır.



Şekil 1.2 Bir boyutta iki atomlu lineer zincirde optik ve akustik modlar

Bu çalışmada III-N tipi yarıiletkenlerin (InN, BN, GaN, AlN) titreşim frekansları ile durum yoğunlukları incelenecektir. III-N grubu yarıiletkenler diğer bileşikler yanında optoelektronik ve ısısal özellikleri yönüyle özel bir yer tutarlar. Bu yarıiletkenler çinko-sülfür (zinc-blende) ve hegzagonal wurtzide yapıda bulunabilirler. Yarıiletkenlerin ısısal ve elektronik özelliklerinin anlaşılması için öncelikle ele alınan materyalin örgü dinamiğinin hesaplanması gerekmektedir. Bu da iki farklı yolla (deneysel ve teorik) mümkündür.

Deneysel çalışmalar daha çok wurtzide yapıdaki yarıiletkenlerin örgü dinamiği çalışmalarında bölge merkezi ve bölge sınırında yoğunlaşmaktadır. Fakat teorik çalışmalarda kullanılan modellerde bağ bükülmelerinden doğan etkileşimler de göz önüne alınır. Bu çalışmada yukarıda anlatılanlara ilaveten fiziksel çekim etkisini de hesaplamalara dahil eden adyabatik bağ yükü modeli (BCM) kullanılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde yarıiletkenlerin örgü dinamiği hesaplamalarının gelişimi, örgü dinamiği hesaplamalarında kullanılan modeller ve bu modellerin farklılıkları, ile üstünlükleri gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde ise III-N tipi yarıiletkenlerin titreşim özelliklerinin incelenmesinde kullanılan Adyabatik bağ yükü modeli (BCM) ve bu modelde yer alan etkileşmelerin teorisi anlatılmış ve daha sonra bu etkileşmelerin kuvvet sabiti matris hesaplamaları yapılmıştır.

Dördüncü bölümde ise örgü dinamiğinin incelenmesinde kullanılan deneysel tekniklerden nötron saçılması ve foton saçılması teknikleri tanıtılmıştır.

Beşinci ve altıncı bölümlerde sırasıyla III-N tipi yarıiletkenler için hesaplanan fonon dağılımı ve durum yoğunluğu eğrileri verilmiştir. Takip eden yedinci bölümde ise her bir yarıiletkene ait belirli frekanslarda titreşim vektörleri gösterilmiş, sekizinci ve son bölümde ise fonon dispersiyonu ve durum yoğunluğu eğrileri üzerine yorum ve değerlendirmeler yapılmıştır.



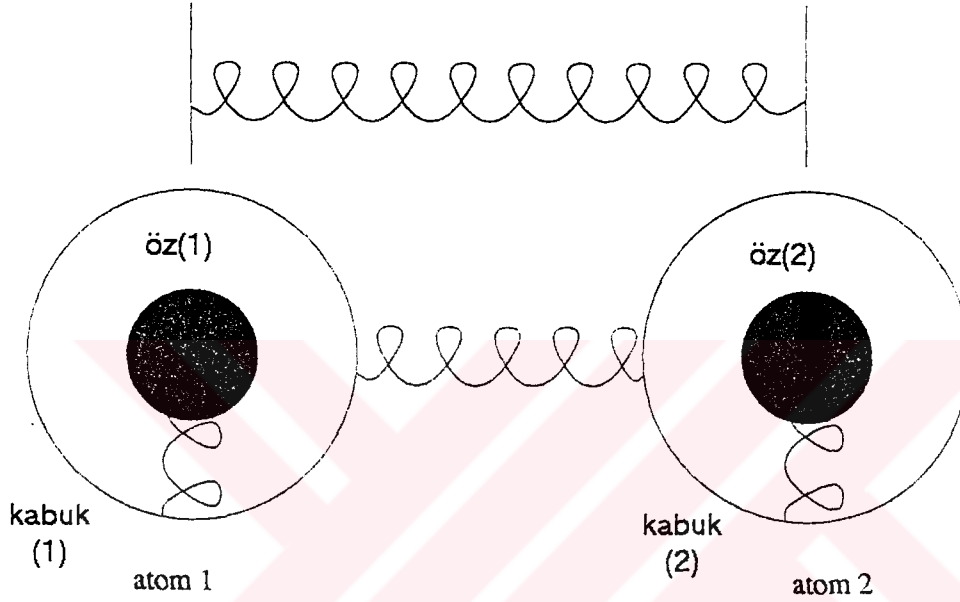
BÖLÜM 2. HOMOPOLAR VE HETEROPOLAR YARIİLETKENLERİN ÖRGÜ DİNAMIĞI HESAPLAMA METODLARI

2.1 Yarıiletkenlerin Örgü Dinamiği Hesaplama Metodlarının Gelişimi

Kristallerdeki örgü dinamiğinin teorisi Born–Von Karman tarafından 1912’de yayınlanan çalışma ile başladı [1]. Born–Von Karman bu çalışmalarında atomik koordinatlara bağlı potansiyel fonksiyonuyla atomik hareketi tanımladılar. Bu teori 1948 yılında J. Smith tarafından elmasın örgü dinamiğinin incelenmesinde kullanıldı ve Born–Von Karman kuvvet sabitleri, ikinci dereceden elastik sabit ve fonon dispersiyonu gösterildi [2]. 1959 yılında ise aynı teori F. Herman tarafından Germanyumun beşinci komşuluğuna kadar titreşim spektrumunun elde edilmesinde kullanıldı [3]. F. Herman tarafından yapılan bu çalışmada Germanyumun beş kabuğu için toplam 16 farklı parametre kullanıldı. Yalnızca en yakın komşu atomlar arası etkileşimler göz önüne alındığında kuvvet sabiti matrisinin α ve β gibi iki parametre içerdiği ve elde edilen bu sonuçların inelastik nötron saçılması verileriyle iyi bir uyum gösterdiği görüldü.

1959 yılında W. Cochran kovalent kristaller için Kabuk modeli geliştirdi [4]. Bu modele göre, iyonların çekirdekleri katı bir öz olarak alınıp dış elektronların da bir kabukta olduğu kabul edildiğinde atom üzerinde bir harmonik hareket tanımlamak mümkün olmaktadır. Bu hareketin enerjisi, altı farklı etkileşmenin toplamı alınarak bulunur. Bunlar Şekil 2.1’de görüldüğü gibi öz(1)-öz(2), kabuk(1)-kabuk(2), öz(1)-kabuk(1), öz(1)-kabuk(2), öz(2)-kabuk(1), öz(1)-kabuk(2) etkileşmeleridirler. Bu model J. L. T. Waung ve G. Dolling tarafından bünyesinde tek tip atom bulunduran (homopolar) ve iki veya daha fazla atom bulunduran (heteropolar) yarıiletkenlere başarılı bir şekilde uygulandı [5, 6]. Bu modelde yapılan hesaplamalarda karşılaşılan

temel güçlük parametre sayısının fazla oluşuydu (14 parametre). Bu zorluğu gidermek ve homopolar yarıiletkenlerin örgü dinamiği hesaplamaları için 1962 yılında Değerlik Kuvvet Modeli ortaya atıldı [7, 8, 9, 10]. Bu model kristalin potansiyel enerjisini, bağlardaki yüklerin etkileşimleri ve bağ açıları cinsinden tanımladı.



Şekil 2.1 Kabuk Modelinin şematik diagramı

Tanımlanan bu modelde atomlar üzerine etki eden harmonik kuvvetlerin, yörünge hibritleşmesi sebebiyle oldukça kısa mesafeli olduğu kadar yüksek yönlenebilirlikli bir elektronik dağılım bozulmasından kaynaklandığı temel varsayımı ortaya konuldu.

Harmonik kuvvetlerden doğan değerlik kuvvet alanı kovalent kristallere etkin olarak uygulanabilir. P. N. Keating kovalent kristaller için yaptığı çalışmada [8], potansiyel enerjinin en genel formunu

$$\Phi = \frac{1}{2} \alpha \cdot \left(\frac{3}{4r_0^2} \right) \cdot \sum_{i=1}^4 [\Delta \cdot (r_{0i} \cdot r_{0i})]^2 + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^2 B_s \cdot \left(\frac{3}{4r_0^2} \right) \cdot \sum_{i,j>1} [\Delta \cdot (r_{0i} \cdot r_{0j})]^2$$

olacak şekilde ele aldı. Burada α ve B_j parametreleri sırasıyla merkezi ve merkezi olmayan etkileşim kuvvet sabitlerini, i ve j atomları ise $(0,0,0)$ konumundaki atomun birinci komşuluklarını gösterir. Bu modelde altı farklı parametre kullanılmış ve bu parametreler kullanılarak homopolar yarıiletkenlerde yapılan fonon dağılımı eğrileri hesaplamalarının deneysel sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür [10].

1969 yılında R. Banarjee ve Y. P. Varshni rijit iyon modeli geliştirip III-V tipi yarıiletkenlere uyguladılar [11]. Bu modelde iyonlar değişken ve polarize olmayan durgun katılar olarak ele alındı. Bu teori iyonik kristallerin pozitif veya negatif yük taşıyan katı (rijit) iyonlardan oluştuğunu kabul eder. Burada toplam enerji, kısa menzilde en yakın komşu iyonlar arasında oluşan itici etkileşme ile Coulomb etkileşmesinin toplamıdır. Bununla birlikte bu model çinko sülfür (zinc blende) tipi yarıiletkenler için fonon dispersiyon eğrilerinin başarılı bir açıklamasını yapabilmek için 11 farklı parametreye ihtiyaç duyar [12].

J. Phillips kovalent bağ için, iyonik sanal-potansiyel ve valans dielektrik alanı temel alan bir mikroskobik teori geliştirdi [13]. Bu teoriye göre kovalent materyallerin yük yoğunluğu iki parçaya bölünebilir. Bunlardan ilki iyonlara ait lineer bir yük yoğunluğu, diğeri ise iki iyonun oluşturduğu bağın merkezinde olacak şekildedir. Bu durum homopolar yarıiletkenler için yük yoğunluğunun en yakın komşu iyonların oluşturduğu bağın tam ortasında olduğu sonucunu verir. J. Phillips'in bu yaklaşımı Martin tarafından silikonun fonon dispersiyon eğrileri hesabında kullanıldı ve sonuçların deneysel sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği gözlemlendi [14,15].

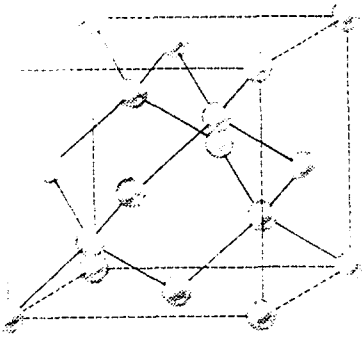
W. Weber [16, 17], J. Phillips ve R. Martin'in modelini daha da geliştirerek homopolar yarıiletkenlerin örgü dinamiği hesaplamalarında kullandı ve bu modele Adyabatik Bağ Yükü Modeli (Adiabatic bond charge model, BCM) adını verdi. Bu modelde elektronların yoğunluk noktaları bağ yükü (bond-charge, BC) adını alır. Bu modelde de R. Martin'in modelinde olduğu gibi en yakın komşu iyonlar arasında merkezi potansiyel tanımlanır, ayrıca tüm parçacıklar arası Coulomb etkileşmeleri de göz önüne alınır. BCM, K. C. Rustagi ve W. Weber tarafından heteropolar

yariletkenlerin fonon dispersiyon eğrilerinin hesaplanmasında kullanıldı ve deneysel sonuçlarla uyum sağladığı görüldü [18]. Model, B. D. Rajput ve D. A. Browne tarafından II-VI grubu yarıiletkenlerin örgü dinamiğini çalışılabilecek şekilde genişletildi ve elde edilen sonuçların farklı modellerin sonuçlarıyla uyumlu olduğu görüldü [19]. BCM'de çizilen fonon dispersiyon eğrilerinin, diğer modellerle ve deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olması modelin başarısını, diğer modellerden daha az parametreyle bunu gerçekleştirme de onlara karşı üstünlüğünü gösterir.

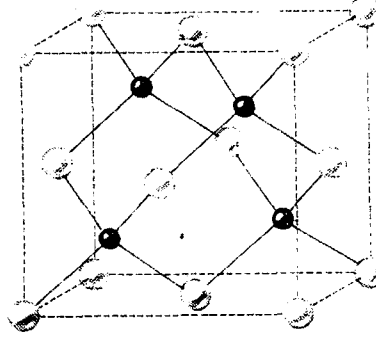
1985 yılında geliştirilen *ab initio* modelinin IV. grup ve III-V grubu yarıiletkenlerin örgü dinamiği hesaplamalarında kullanılmasıyla birlikte elde edilen sonuçların diğer sonuçlarla uyumunda fark edilebilir bir iyileşme olması bu modelin başarısını gösterdi. Bu başarı modelin diğer modeller gibi yarı kuantum mekaniksel olmayıp tam kuantum mekaniksel olması dolayısıyladır. Ayrıca bu model deneysel parametrelere ihtiyaç duymaz. Fakat bu modelde hesaplama yapmak çok güçlü bilgisayarlar gerektirmektedir. Bu modelde elde edilen hacim fonon frekanslarının BCM'de hesaplanan frekanslarla uyum göstermesi BCM'nin verilerin doğruluğunu gösterir [32, 33, 36, 37].

2.2 Born-Von Karman Modeli

Elmas yapıdaki kristaller, yüzey merkezli yapıya (Şekil 2.4) bir örgü noktası eklenmesiyle elde edilir. Bu örgü noktası $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$ noktasında konumlanır. Çinko sülfür (zinc blende) yapı elmas yapıya göre farklılıklar gösterir; bunlar farklı iyonların birbirleriyle bağ yapmasından ileri gelir. Elmas ve çinko-sülfür yapılar sırasıyla Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de görülmektedir. Elmas ve çinko-sülfür yapılar birim hücrelerinde aynı sayıda atom içermelerine karşın atomların bağlanma yönleri ve bağ açılarında farklılık gösterirler.



Şekil 2.2 Elmas yapı



Şekil 2.3 Çinkostülfür yapı

Burada öncelikle atomların konumlarının nasıl belirleneceği önem kazanmaktadır.

Bunu bilebilmek için yüzey merkezli yapı'nın (fcc) örgü temel vektörleri yazılır.

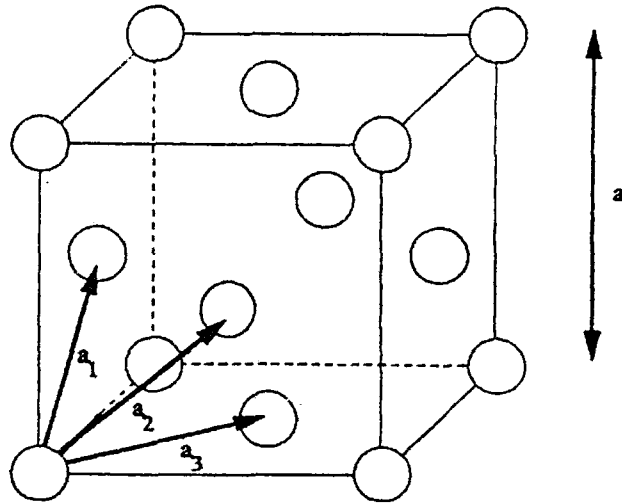
Bunlar;

$$a_1 = \frac{a}{2}(011)$$

$$a_2 = \frac{a}{2}(101)$$

$$a_3 = \frac{a}{2}(110)$$

olarak verilir.



Şekil 2.4 FCC (Yüzey Merkezli) yapı

Bu örgü noktalarından herhangi birisinde bulunan atomun konumu;

$$r(lb) = r(l) + r(Ob) \quad (2.1)$$

$$r(lb) = l_1.a_1 + l_2.a_2 + l_3.a_3 + r(Ob)$$

ifadesi ile verilir. Burada (l_1, l_2, l_3) pozitif veya negatif değişkenler, (a_1, a_2, a_3) örgü temel vektörleri, $r(l)$ hücrenin konum ifadesi ve $r(Ob)$ ise hücredeki parçacığın orijine göre konumudur. Denklem (2.1)'de l birim hücreyi, b ise atom tipini gösterir.

$r(O1) = a.(0,0,0)$, $r(O2) = \frac{a}{4}(1,1,1)$ sırasıyla birinci ve ikinci atomların konum

ifadeleridir. $u(lb)$, b atomunun denge konumuna olan uzaklığı olmak üzere, kusursuz bir kristalin kinetik enerjisi;

$$T = \frac{1}{2} \sum_{l,b,\alpha} M_b \cdot \dot{u}_b^2 \quad (2.2)$$

ile verilir. Burada $(\alpha = x, y, z)$ kartezyen koordinatları, M_b ifadesi b . atomun kütlesini gösterir.

Bir kristalin potansiyel enerjisi yer değiştirmeler cinsinden [34]

$$\Phi = \Phi_0 + \sum_{lb\alpha} \Phi_\alpha(lb) u_\alpha(lb) + \frac{1}{2} \sum_{\substack{lb\alpha \\ l'b'\beta}} \Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') u_\alpha(lb) u_\beta(l'b') \dots \quad (2.3)$$

ifadesiyle tanımlanır. Burada Φ_0 dinamik problem için önemli olmayan, kristalin tüm atomlarının denge konumlarının potansiyel enerjisini gösteren bir sabittir; $(l'b')$ terimi (b') atomunun denge konumuna olan uzaklığını gösterir. İfadedeki $\Phi_\alpha(lb)$ ve $\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b')$ terimleri ise;

$$\Phi_\alpha(lb) = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial u_\alpha(lb)} \right|_0 = 0 \quad (2.4)$$

$$\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial u_\alpha(lb) \partial u_\beta(l'b')} \Big|_0 \quad (2.5)$$

olarak verilir. Burada Denklem (2.4)'ün sıfır olması atomun dengede olduğunu yani etkileyen net kuvvetin sıfır olduğunu belirtir.

Harmonik yaklaşıklıkla kristalin Hamiltoniyeni

$$H = \Phi_0 + \frac{1}{2} \sum_{l,b,\alpha} M_b \dot{u}_\alpha^2 + \frac{1}{2} \sum_{\substack{lb\alpha \\ l'b'\beta}} \Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') u_\alpha(lb) u_\beta(l'b') \quad (2.6)$$

olarak yazılır. Bu yazımda harmonik olmayan terimler göz önüne alınmamıştır.

l . birim hücredeki b atomun hareket denklemi

$$M_b \ddot{u}_\alpha(lb) = - \frac{\partial \Phi}{\partial u_\alpha(lb)} - \sum_{l'b'\beta} \Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') u_\beta(l'b') \quad (2.7)$$

olarak yazılır. Bu denklemde $\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b')$ ifadesi atomik kuvvet sabiti olarak tanımlanır.

Kristallerde örgü öteleme simetrisinden dolayı kuvvet sabiti matrisi için iki önemli koşul ortaya çıkar [35];

$$1. \quad \Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') = \Phi_{\alpha\beta}(Ob;(l'-l)b') \quad (2.8)$$

2. Atomun denge konumundaki etkileşiminin tesbiti için tüm atomlarla olan etkileşimi üzerinden toplam alınır:

$$\Phi_{\alpha\beta}(lb;lb) = - \sum_{l'b' \neq lb} \Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') \quad (2.9)$$

Buradaki $\Phi_{\alpha\beta}(lb;lb)$ kuvvet sabiti ifadesi öz (self) terimi olarak adlandırılır.

Öteleme simetrisinden dolayı hareket denklemi olan Denklem (2.7) tekrar yazılırsa,

$$M_b \ddot{u}_\alpha(lb) = - \sum_{l'b'} \Phi_{\alpha\beta}(Ob;l'b') u_\beta(l'b') \quad (2.10)$$

olur. Hareket denklemindeki $u_\beta(l'b')$ ifadesi dalga vektörüne bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir [35]:

$$u_\alpha(lb; q) = \frac{1}{\sqrt{M_b}} \sum_q U_\alpha(b; q) \cdot \exp \{ i [q \cdot x(l) - \omega t] \} \quad (2.11)$$

Burada q dalga vektörü, $U_\alpha(b; q)$ ifadesi de l 'den bağımsız bir sabittir. Denklem (2.11), Denklem (2.10)'da yerine konular ve hesaplamalar yapılırsa

$$\omega^2 U_\alpha(q; b) = \sum_{l'} D_{\alpha\beta}(bb'; q) \cdot U_\beta(q; b') \quad (2.12)$$

sonucu bulunur. Denklem (2.12)'deki $D_{\alpha\beta}(bb'; q)$ ifadesi D tipi dinamik matris olarak adlandırılır:

$$D_{\alpha\beta}(bb'; q) = \frac{1}{\sqrt{M_b \cdot M_{b'}}} \sum_{l'} \Phi_{\alpha\beta}(Ob;l'b') \cdot \exp \{ i \cdot q \cdot x(l') \} \quad (2.13)$$

2.3 Rijit İyon Modeli

Bu modelde iyonik kristallerin pozitif veya negatif birim yüke sahip katı (rijit) iyonlardan oluştuğu kabul edilir. Bulunan sonuçlarda iyonlar arası Coulomb etkileşimleri ve kristalin durgun halinde hesaplanan kısa menzil etkileşimleri

birleştirilir. Bu kısa menzil etkileşmesi en yakın komşu atomlar üzerinden hesaplanır. İki iyonun etkileşim potansiyel enerjisi,

$$\phi_{bb'} = \frac{e_b \cdot e_{b'}}{r} + \phi_{bb'}^R(r) \quad (2.14)$$

ile verilir. Burada ilk terim Coulomb etkileşmelerini, ikinci terim ise kısa menzil etkileşmelerini gösterir. Çinko-sülfür (zinc-blende) yapıdaki kristallerde merkezi iyon 4 adet en yakın komşu iyonla sahiptir. Bundan dolayı birim hücredeki toplam enerji,

$$E(r) = -\frac{\alpha_m \cdot (ze)^2}{r} + 4 \cdot \phi^R(r) \quad (2.15)$$

bağıntısıyla verilir. Burada α_m Madelung sabitidir. Bu enerji ifadesinin minimum değeri, $r = r_0$ olması durumunda elde edilir. Bu da en yakın komşu atomların dengede olduğu durumdur. Bu durumda enerji,

$$E(r) = -\frac{\alpha_m \cdot (ze)^2}{r} + 4 \cdot \phi^R(r) = 0 \quad (2.16)$$

olur. Buradan kristalin toplam enerjisine ulaşmak istenirse N tane birim hücre için toplam enerjinin

$$U = N \cdot E(r) \quad (2.17)$$

olduğu görülür.

İyonik bir kristalin sıkışabilirliği (kompresibilitesi),

$$\frac{1}{K} = \Omega \cdot \left[\frac{\partial^2 U}{\partial \Omega^2} \right]_{r=r_0} \quad (2.18)$$

olarak tanımlanır. Burada Ω kristalin hacmidir ve $N \cdot \frac{a^3}{4}$ olarak alınır. Denklem (2.15) ve Denklem (2.17), Denklem (2.18)'de yerine konur ve hesaplamalar yapılırsa;

$$\frac{1}{K} = \frac{r_0^2}{9V_a} \left[-\frac{2\alpha_M (ze)^2}{r_0^3} + 4 \cdot \phi^{R'}(r_0) \right]$$

sonucu bulunur. Burada V_a birim hücre hacmidir.

Rijit iyon modelinde radyal etkileşme kuvvet sabiti matrisi,

$$-\Phi_{\alpha\beta}(000, \frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}) = \begin{bmatrix} \frac{1}{3}(A+2B) & \frac{1}{3}(A-B) & \frac{1}{3}(A-B) \\ \frac{1}{3}(A-B) & \frac{1}{3}(A+2B) & \frac{1}{3}(A-B) \\ \frac{1}{3}(A-B) & \frac{1}{3}(A-B) & \frac{1}{3}(A+2B) \end{bmatrix}$$

olarak verilir. Burada A ve B sırasıyla $\phi^{R'}(r_0)$, $\frac{1}{r_0} \phi^{R'}(r_0)$ olarak alınır.

2.4 Değerlik Kuvvet Modeli

Değerlik kuvvet modelinde etkileşen atomların bir kuvvet alanı içerisinde olduğu kabul edilir. Bu kuvvet alanı içerisinde oluşan enerji değişimlerini doğuran iki sebep, en yakın komşu atomlarla olan bağ boyu ve atomlar arası bağ açılarının değişimidir. Burada toplam enerji,

$$\Phi = \frac{1}{2} \cdot k_r \cdot \sum (\delta r_{ij})^2 + k_{rr} \cdot \sum (\delta r_{ij}) \cdot (\delta r_{ik}) \quad (2.19)$$

olacak şekildedir. İfadedeki ilk terim komşu iyonlar olan i ve j iyonları arasındaki bağ gerilmesinden doğan toplam enerjiyi içerir. İkinci terim ise i, j ve k iyonları arasındaki bağ bükülmesinden doğan enerjiyi anlatır. Bu etkileşimin kuvvet sabiti matrisinin denklem formu,

$$\Phi_{\alpha\beta}^r(i, j) = \frac{\partial}{\partial X_{\beta}(j)} \left(k_r \cdot \delta r_{ij} \cdot \frac{\partial \delta r_{ij}}{\partial X_{\alpha}(i)} \right) \quad (2.20)$$

ile verilir. İfadedeki r_0 en yakın komşu iyonlar arası denge bağ boyu, r_{ij} ise i ve j iyonlarının aralarındaki mesafedir. Bu uzaklık ifadesi,

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{\gamma=1,3} (X_{\gamma}(i) - X_{\gamma}(j))^2} \quad (2.21)$$

olarak verilir. Denklem (2.20) için $(\delta r_{ij})^2 = (r_{ij} - r_0)^2$ olarak alınarak, Denklem (2.21), Denklem (2.20)'de yerine yazılırsa,

$$\Phi_{\alpha\beta}^r(i, j) = \frac{\partial}{\partial X_{\beta}(j)} \cdot \frac{1}{r_{ij}} \cdot (X_{\alpha}(i) - X_{\alpha}(j)) \quad (2.22)$$

sonucuna ulaşılır. Bu sonucun türevi bize kuvvet sabiti ifadesini verir ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$\Phi_{\alpha\beta}^r(i, j) = -r_0^{-2} \cdot k_r \cdot (X_{\alpha}(i) - X_{\alpha}(j)) \cdot (X_{\beta}(i) - X_{\beta}(j)) \quad (2.23)$$

Birim hücredeki atomların pozisyonları sırasıyla (0,0,0) ve $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ olarak alınır,

Born – Von Karman modeli kuvvet sabitleri

$$\alpha^r = \beta^r = \frac{k_r}{3}$$

olarak yazılır. Etkileşmede ikinci terim de göz önüne alınırsa

$$\alpha^{rr} = \beta^{rr} = \frac{2k_{rr}}{3}$$

olur.



BÖLÜM 3. ADYABATİK BAĞ YÜKÜ MODELİ (BCM)

3.1 Adyabatik Bağ Yükü Modelinin Tanımlanması

Adyabatik bağ yükü modeli, periyodik tabloda bulunan III-V ve II-VI grubu bileşikler ile IV. grup bileşiklerin fonon dispersiyon eğrilerinin hesaplanmasında kullanılan metottur [16,18,19]. Bu metoda göre örgü dinamiğinin kuantum mekaniksel problemleri nokta yükler kullanarak basit klasik formalizme dönüştürülüp çözümlenebilir.

Adyabatik bağ yükü modelinde yarıiletkenlerin değerlik elektronlarının yoğunluk noktaları “bağ yükü (BC)” olarak adlandırılır. Bağ yüklerinin yerini belirlerken atomların elektronegatifliği göz önüne alınır. Bağ yükleri elektronegatifliği daha yüksek olan atoma yakın olacak şekilde yerleşir. Bu yerleşim, tek tip atoma sahip (homopolar) kristallerde en yakın komşu atomların bağlarının tam ortasında yer alırken, III-V tipi yarıiletkenlerde en yakın atomlar arasındaki bağı 5/3 oranında bölecek şekilde olur. Valans elektron yoğunluğu III-V grubu bileşiklerde maksimumdur. Bu durum II-VI tipi yarıiletkenlerin daha iyonik olması anlamını taşır.

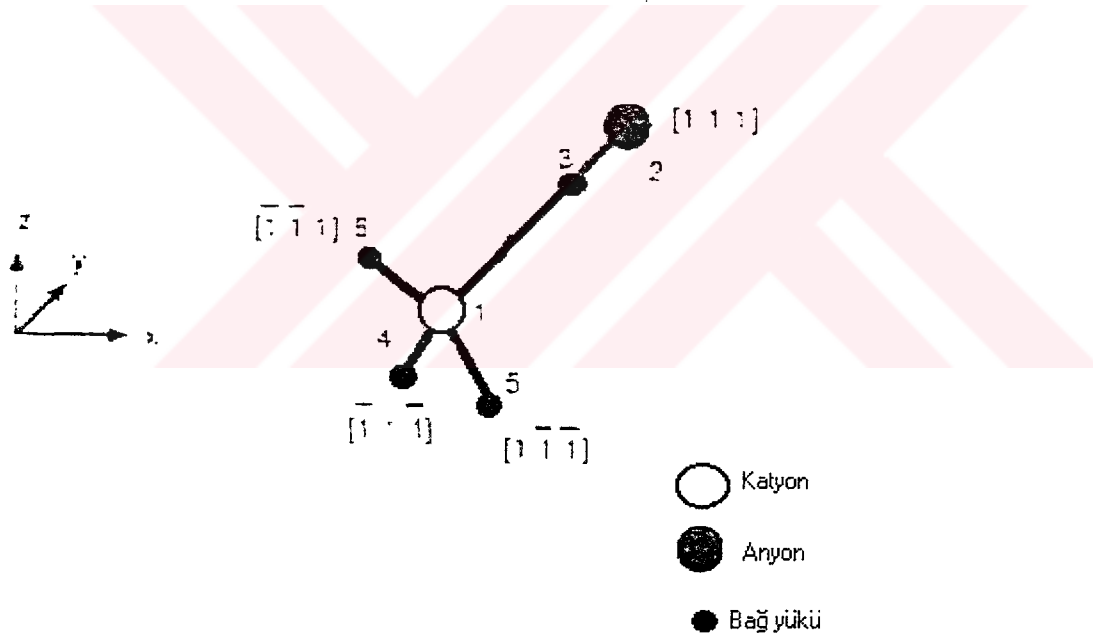
Adyabatik bağ yükü modelinde (BCM) deneysel itme-çekme etkileşmesi olarak tanımlanan p parametresine bağlı olarak bağ yüklerinin iyonlara göre konumlarını tespit etmek mümkündür. Buna göre, r_0 bağ uzunluğunu göstermek üzere, bağ yükleri anyondan ve katyondan aşağıdaki verilen uzaklıklarda yerleşirler.

$$r_1 = r_0 \frac{(1+p)}{2} \quad (3.1)$$

$$r_2 = r_0 \frac{(1-p)}{2} \quad (3.2)$$

Bu ifadede r_1 , bağ yükünün katyona, yani III. grup elemente olan uzaklığı, r_2 de anyona yani V. grup elemente olan uzaklığını gösterir. Heteropolar yarıiletkenlere ait BCM birim hücresi Şekil 3.1'de görülmektedir.

Homopolar bileşikler için $p = 0$ 'dır. Bu da bağ yükünün katyona ve anyona olan uzaklığının aynı olduğu anlamına gelir ve bağ yükü bağın tam ortasında yer alır. Bunun sebebi homopolar bileşiklerin aynı elektronegatifliğe sahip tek tip atomlardan oluşmasıdır. Fakat heteropolar yarıiletkenlerde farklı iki atom içerdiğinden bağ yükü elektronegatifliği daha yüksek olan atoma yakın olacak şekilde konumlanır. III-V grubu bileşikler için $p = \frac{1}{4}$, II-VI grubu bileşikler için $p = \frac{1}{3}$ olur. Tüm yarıiletkenlerde bağ yükünün değeri Ze olarak alınır.



Şekil 3.1 III-V tipi yarıiletkenlere ait BCM birim hücresi

3.2 Adyabatik Bağ Yükü Modelinde Radyal Etkileşmeler

Kristalin toplam enerjisi tüm parçacıkların etkileşme enerjilerinin toplamına eşittir. [16,17,18]. Bir kristalin toplam potansiyel enerjisi şu şekilde yazılır:

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{\substack{lb \\ l'b'}} \phi_{bb'}(r(lb;l'b')) \quad (3.3)$$

Buradaki (1/2) terimi hesaplamaların tekrarlanmasını önlemek için kullanılmıştır. Bu durumda etkileşimler yalnızca bir defa alınmış olacaktır. İfadedeki $\phi_{bb'}(r_{bb'})$ yalnızca parçacıkların aralarındaki mesafeye bağlı bir potansiyeli gösterir. Denklemdaki $r(lb;l'b')$ terimi ise şu şekilde verilir:

$$\begin{aligned} r(lb;l'b') &= [((x(lb) - x(l'b'))^2 + 2 \cdot (x(lb) - x(l'b')) \cdot (u(lb) - u(l'b')) \\ &\quad + (u(lb) - u(l'b'))^2)^{1/2} \\ r(lb;l'b') &= [(x(lb) - x(l'b') + (u(lb) - u(l'b'))^2)^{1/2} \quad (3.4) \end{aligned}$$

Yukarıdaki ifadedeki terimler aşağıdaki verilerle düzenlenirse,

$$x(lb; l'b') = (x(l'b') - x(lb))$$

$$u(lb; l'b') = (u(l'b') - u(lb))$$

$$r(lb;l'b') = [(x(lb;l'b') + (u(lb;l'b'))^2)^{1/2}$$

sonucuna ulaşılır. İfadedeki $x(lb)$ ve $x(l'b')$ değerleri, b ve b' atomlarının denge konum vektörleri, $u(lb)$ ve $u(l'b')$ değerleri ise bu parçacıklar için uzaklık vektörleridir.

$r(lb;l'b')$ ifadesi Denklem (3.3)'de yerine konulursa;

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{lb} \sum_{l'b'} \phi_{bb'} [|(x(lb; l'b') + u(lb; l'b'))|]^{1/2} \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir.

Denklemler(3.5)'teki potansiyel ifadesi, denge durumunda uzaklık vektörlerinin sıfır olduğu göz önüne alınarak genişletilecek olursa [34];

$$\begin{aligned} \Phi = & \frac{1}{2} \sum_{\substack{lb \\ l'b'}} \phi_{bb'} (|(x(lb; l'b'))|) \quad (3.6) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{\substack{lb \\ l'b'}} \phi_{\alpha} (lb; l'b') \cdot u_{\alpha} (lb; l'b') \\ & + \frac{1}{4} \sum_{\substack{lb \\ l'b' \\ \alpha\beta}} \phi_{\alpha\beta} (lb; l'b') \cdot u_{\alpha} (lb; l'b') \cdot u_{\beta} (lb; l'b') \\ & + \frac{1}{12} \sum_{\substack{lb \\ l'b' \\ \alpha\beta\gamma}} \phi_{\alpha\beta\gamma} (lb; l'b') \cdot u_{\alpha} (lb; l'b') \cdot u_{\beta} (lb; l'b') \cdot u_{\gamma} (lb; l'b') \\ & + \dots \end{aligned}$$

sonucuna ulaşılır.

Denklemler (3.6)'daki $\phi_{\alpha} (lb; l'b')$, $\phi_{\alpha\beta} (lb; l'b')$, $\phi_{\alpha\beta\gamma} (lb; l'b')$ ifadeleri

$r = (x_{\alpha}^2 + x_{\beta}^2 + x_{\gamma}^2)^{1/2}$ alınarak denge durumu için aşağıdaki gibi bulunur :

$$\phi_{\alpha} (lb; l'b') = \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \phi_{bb'}(r) \Big|_{r=x(lb; l'b')} = \frac{x_{\alpha}}{r} \phi'_{bb'}(r) \Big|_{r=x(lb; l'b')} \quad (3.7)$$

$$\phi_{\alpha\beta} (lb; l'b') = \frac{\partial}{\partial x_{\alpha} \partial x_{\beta}} \phi_{bb'}(r) \Big|_{r=x(lb; l'b')}$$

$$= \left\{ \frac{x_\alpha x_\beta}{r^2} [\phi_{bb'}''(r) - \frac{1}{r} \phi_{bb'}'(r)] + \frac{\delta_{\alpha\beta}}{r} \phi_{bb'}'(r) \right\} \Big|_{r=x(lb; l'b')} \quad (3.8)$$

$$\phi_{\alpha\beta\gamma}(lb; l'b') = \frac{\partial}{\partial x_\alpha \partial x_\beta \partial x_\gamma} \phi_{bb'}(r) \Big|_{r=x(lb; l'b')}$$

$$\phi_{\alpha\beta\gamma}(lb; l'b') = \left\{ \frac{x_\alpha x_\beta x_\gamma}{r^3} [\phi_{bb'}'''(r) - \frac{3}{r} \phi_{bb'}''(r) + \frac{3}{r^2} \phi_{bb'}'(r)] \right. \quad (3.9)$$

$$\left. + \frac{x_\alpha \delta_{\beta\gamma} + x_\beta \delta_{\alpha\gamma} + x_\gamma \delta_{\alpha\beta}}{r^2} [\phi_{bb'}''(r) - \frac{1}{r} \phi_{bb'}'(r)] \right\} \Big|_{r=x(lb; l'b')}$$

Denklem (3.6)'nın üçüncü terimi alınıp, konum vektörleri açılarak yazılırsa,

$$\Phi_2 = \frac{1}{4} \sum_{lb\alpha} \sum_{l'b'\beta} \phi_{\alpha\beta}(lb; l'b') \cdot u_\alpha(lb; l'b') \cdot u_\beta(lb; l'b')$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{4} \sum_{lb\alpha} \sum_{l'b'\beta} \phi_{\alpha\beta}(lb; l'b') [(u_\alpha(l'b') - u_\alpha(lb)) \cdot (u_\beta(l'b') - u_\beta(lb))]$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{4} \sum_{lb\alpha} \sum_{l'b'\beta} \phi_{\alpha\beta}(lb; l'b') [u_\alpha(lb)u_\beta(lb) - u_\alpha(lb)u_\beta(l'b') \\ - u_\alpha(l'b')u_\beta(lb) + u_\alpha(l'b')u_\beta(l'b')] \quad (3.10)$$

ifadesine ulaşılır. Burada $[(u_\alpha(lb)u_\beta(lb) - u_\alpha(lb)u_\beta(l'b'))]$ ifadesi bir sonraki ifadeye eşit olduğundan denklem;

$$\Phi_2 = \frac{1}{2} \sum_{lb\alpha} \sum_{l'b'\beta} \phi_{\alpha\beta}(lb; l'b') [u_\alpha(lb)u_\beta(lb) - u_\alpha(lb)u_\beta(l'b')]$$

olacak şekilde yazılabilir.

Yukarıdaki eşitlikle, (2.3) eşitliği karşılaştırılırsa aşağıdaki sonuca ulaşılır:

$$\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') = \sum_{l'b'} \phi(lb;l'b') \quad (3.11)$$

Buradaki $\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b')$ ifadesi toplam enerjisi; $\phi(lb;l'b')$ ifadesi ise iki atom arasındaki enerjisi ifade etmektedir:

$$-\Phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') = -\phi_{\alpha\beta}(lb;l'b') \quad (lb \neq l'b') \quad (3.12)$$

Buradaki ifade farklı konumlarında bulunan iyonlar arasındaki tüm etkileşim enerjileri toplamının bu iki iyon arasındaki etkileşim enerjisine eşit olduğunu gösterir.

Adyabatik bağ yükü modeline göre, iki iyon arasında altı farklı tipte etkileşim mevcuttur. Bunlar iyon-iyon, iyon-BC(bağ yükü), BC-BC(bağ yükü-bağ yükü), Keating, bağ bükülmesi (bond bending) ve Coulomb etkileşimleridir. İyon-iyon etkileşimleri ϕ_{i-i} ile, iyon-BC etkileşimleri ϕ ile gösterilir. Adyabatik bağ yükü modelin birim hücresi Şekil 1'de görülmektedir. Birim hücrenin bünyesinde bulunan altı parçacığın konum vektörleri aşağıdaki gibidir:

$$x(1) = (0,0,0)$$

$$x(2) = a/4(1,1,1)$$

$$x(3) = (1+p)a/8(1,1,1)$$

$$x(4) = (1+p)a/8(-1,1,-1)$$

$$x(5) = (1+p)a/8(1,-1,-1)$$

$$x(6) = (1+p)a/8(-1,-1,1)$$

3.2.1 İyon-iyon etkileşmesi kuvvet sabiti matrisleri

İyon – iyon etkileşimini hesaplamak için Denklem (3.8) kullanılacaktır. Öncelikle $a(0,0,0)$ konumunda bulunan iyonla, $a/4(1,1,1)$ konumunda bulunan iyon arasındaki etkileşimin hesaplanması için fark ifadesi yazılırsa,

$$r = x(lb; l'b') = x(l'b') - x(lb)$$

$$r = a/4(1,1,1) - a(0,0,0)$$

$$r = a/4(1,1,1).$$

bulunur. Bulunan bu farkın büyüklüğü yazılacak olursa,

$$r^2 = x_\alpha^2 + x_\beta^2 + x_\gamma^2 = \frac{a^2}{16} + \frac{a^2}{16} + \frac{a^2}{16} = \frac{3a^2}{16} \quad (3.13)$$

olduğu görülür.

İyon-iyon etkileşimi kuvvet sabiti matrisi (3x3) boyutunda bir matristir. Matris, terimlerinin her biri hesaplanıp yerine yazılarak oluşturulur.

Şimdi matrisin terimlerinin nasıl hesaplandığını inceleyelim:

[11] terimi;

$x_\alpha = \frac{a}{4}$ ve $x_\beta = \frac{a}{4}$ alınarak Denklem (13)'teki ifade ile birlikte Denklem (8)'de yerine konulursa,

$$\phi_{11} = \frac{1}{3} \left[\phi_{bb'}'' - \frac{1}{r_0} \phi_{bb'}' \right] + \frac{1}{r_0} \phi_{bb}'$$

$$\phi_{11} = \frac{1}{3} \phi_{bb}'' + \frac{2}{3r_0} \phi_{bb}'$$

bulunur. İfadede α ve β değerleri aynı olduğu için Denklem (3.8)'de ikinci terimin bir anlamı vardır. Diğer durumlarda ise bu ifade sıfırdır.

[12] terimi;

Yukarıdaki şekilde hesaplamalar yapılır, yalnız bu terimde α ve β değerleri farklı olduğundan Denklem (3.8)'deki ikinci terim sıfır alınır ve sonuç

$$\phi_{12} = \frac{1}{3} \phi_{bb}'' - \frac{1}{3r_0} \phi_{bb}'$$

olarak bulunur. Aynı şekilde matrisin diğer elemanları için işlemler yapıldıktan sonra iyon-iyon etkileşim kuvvet sabiti matrisi elde edilir. Bilindiği gibi (000) konumunda bulunan iyonun dört komşuluğu vardır. Bunlar hesaplamalarda sırasıyla (2,2',2'',2''') olarak gösterilecektir. $X(1) = (0,0,0)$ ve $X(2) = \frac{a}{4}(1,1,1)$ konumlarında bulunan iki iyonun etkileşim kuvvet matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}_{(1-2)} = \frac{1}{3} \phi_{i-i}'' \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_0} \phi_{i-i}' \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

olarak bulunur. Birinci iyon ile ikinci iyon etkileşim matrisi bu şekilde bulunduktan sonra, diğer iyonlarla olan etkileşim hesaplamalarına geçilebilir.

$X(1) = (0,0,0)$ ve $X(2') = \frac{a}{4}(-1,-1,1)$ konumlarında bulunan iki iyonun etkileşim

kuvvet matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2') = \frac{1}{3}\phi_{i-i}'' \begin{pmatrix} 1 & 1-1 \\ 1 & 1-1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_0}\phi_{i-i}' \begin{pmatrix} 2-1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

olarak bulunur.

$X(1) = (0,0,0)$ ve $X(2'') = \frac{a}{4}(-1, 1, -1)$ konumlarında bulunan iki iyonun etkileşim

kuvvet matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2'') = \frac{1}{3}\phi_{i-i}'' \begin{pmatrix} 1-1 & 1 \\ -1 & 1-1 \\ 1-1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_0}\phi_{i-i}' \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

olarak yazılır.

$X(1) = (0,0,0)$ ve $X(2''') = \frac{a}{4}(1, -1, 1)$ konumlarında bulunan iki iyonun etkileşim

kuvvet matrisi ise

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2''') = \frac{1}{3}\phi_{i-i}'' \begin{pmatrix} 1-1-1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_0}\phi_{i-i}' \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

şeklindedir. İyonlar arası etkileşimin kuvvet sabiti matrisleri hesaplandığına göre toplam

kuvvet sabiti matrisi yazılabilir.

Toplam iyon-iyon radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi aşağıdaki gibi yazılır:

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(iyon - iyon) = -\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2) + (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2')) + (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2''))$$

$$+ (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-2^m))$$

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(iyon - iyon) = \frac{4}{3}\phi_{i-i}'' \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \frac{4}{3r_0}\phi_{i-i}' \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

3.2.2 İyon- bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisleri

İyon – bağ yükü etkileşimini hesaplamak için Denklem (3.8) kullanılacaktır.

Öncelikle $a(0,0,0)$ konumunda bulunan iyonla, $\frac{a(1+p)}{8} \cdot (1,1,1)$ konumunda bulunan

bağ yükü arasındaki etkileşimin hesaplanması için fark ifadesi

$$r = x(lb; l'b') = x(l'b') - x(lb)$$

$$r = \frac{a \cdot (1+p)}{8} \cdot (1,1,1) - a(0,0,0)$$

$$r = \frac{a \cdot (1+p)}{8} \cdot (1,1,1)$$

olarak yazılır. Bulunan bu farkın büyüklüğü yazılacak olursa

$$r^2 = x_\alpha^2 + x_\beta^2 + x_\gamma^2 = 3 \cdot \left[\frac{a^2 \cdot (1+p)^2}{64} \right] \quad (3.19)$$

olduğu görülür.

İyon-iyon etkileşimi kuvvet sabiti matrisi (3x3) boyutunda bir matristir. Matris, terimlerinin her biri hesaplanıp yerine yazılarak oluşturulur.

[11] terimi;

$x_\alpha = \frac{a.(1+p)}{8}$ ve $x_\beta = \frac{a.(1+p)}{8}$ alınarak Denklem (3.18)'deki ifade birlikte

Denklem (3.8)'de yerine konulursa;

$$\phi_{11} = \frac{1}{3} \cdot \left[\phi_1'' - \frac{1}{r_1} \cdot \phi_1' \right] + \frac{1}{r_1} \cdot \phi_1'$$

$$\phi_{11} = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' + \frac{2}{3r_1} \cdot \phi_1'$$

sonucu bulunur. İfadede α ve β değerleri aynı olduğu için Denklem (3.8)'de ikinci terimin bir anlamı vardır. Diğer durumlarda ise bu ifade sıfırdır.

[12] terimi;

Yukarıdaki şekilde hesaplamalar yapılır, yalnız bu terimde α ve β değerleri farklı olduğundan Denklem (3.8)'deki ikinci terim sıfır alınır ve sonuç

$$\phi_{11} = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' + \frac{1}{3r_1} \cdot \phi_1'$$

olarak bulunur.

Aynı şekilde matrisin diğer elemanları için işlemler yapıldıktan sonra iyon-bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi elde edilir. Şekil (1)'de görüldüğü gibi (000) konumunda bulunan iyonun dört tane bağ yükü komşuluğu vardır. Bunlar hesaplamalarda sırasıyla (3,4,5,6) olarak gösterilecektir. $X(1) = a(0,0,0)$ konumunda bulunan iyonla, $X(3) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1,1,1)$ konumunda bulunan bağ yükü arasındaki etkileşimin kuvvet sabiti matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-3) = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_1} \cdot \phi_1' \cdot \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

olarak bulunur.

$X(1)=(0,0,0)$ konumundaki iyon ile $X(4) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, 1, -1)$ konumunda

bulunan bağ yükünün radyal etkileşim kuvvet matrisi ise

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-4) = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_1} \cdot \phi_1' \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & 2 & 1 \\ -1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.21)$$

şeklindedir.

$X(1)=(0,0,0)$ konumundaki iyon ile $X(5) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, -1, -1)$ konumunda bulunan

bağ yükünün radyal etkileşim kuvvet matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-5) = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_1} \cdot \phi_1' \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

olarak elde edilir.

$X(1)=(0,0,0)$ konumundaki iyon ile $X(6) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, -1, 1)$ konumunda

bulunan bağ yükünün radyal etkileşim kuvvet matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-6) = \frac{1}{3} \cdot \phi_1'' \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{1}{3r_1} \cdot \phi_1' \cdot \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

formundadır. İyon bağ yükü arasındaki radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisleri tanımlandığına göre toplam etkileşim matrisi yazılabilir.

Toplam iyon- bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(iyon - bağ yükü) = -\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-3) + (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-4)) \\ + (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-5)) + (-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(1-6))$$

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(iyon - bağ yükü) = \frac{4}{3} \cdot \phi_1'' \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \frac{4}{3r_1} \cdot \phi_1' \cdot \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.24)$$

olacak şekildedir.

3.2.3 Bağ yükü – bağ yükü radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisleri

Bağ yükü – bağ yükü etkileşimini hesaplamak için Denklem (3.8) kullanılacaktır.

Öncelikle $X(3) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, 1, 1)$ konumunda bulunan bağ yüküyle,

$X(4) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, 1, -1)$ konumunda bulunan bağ yükü arasındaki etkileşimin

hesaplanması için fark ifadesi

$$r = x(lb; l'b') = x(l'b') - x(lb)$$

$$r = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, 1, -1) - \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, 1, 1)$$

$$r = \frac{a.(1+p)}{8} . (-2, 0, -2)$$

olarak yazılır. Bulunan bu farkın büyüklüğü yazılacak olursa,

$$r^2 = x_\alpha^2 + x_\beta^2 + x_\gamma^2 = \frac{a^2.(1+p)^2}{8} \quad (3.25)$$

olduğu görülür.

Bağ yükü – bağ yükü etkileşimleri için Denklem (3.8) farklı bir biçimde ifade edilirse,

$$\phi_{\alpha\beta} = \frac{x_\alpha . x_\beta}{r^2} \left(\psi_1'' - \frac{1}{r} . \psi_1' \right) + \frac{\delta_{\alpha\beta}}{r} . \psi_1' \quad (3.26)$$

eşitliği kullanılabilir.

Bağ yükü – bağ yükü etkileşimi kuvvet sabiti matrisi (3x3) boyutunda bir matristir. Matris, terimlerinin her biri hesaplanıp yerine yazılarak oluşturulur.

[11] terimi;

İfadede α ve β değerleri aynı olduğu için ($\alpha = 1, \beta = 1$), Denklem (3.26)'da ikinci terimin bir anlamı vardır. Diğer durumlarda ise bu ifade sıfırdır.

$x_\alpha = \frac{-2.a.(1+p)}{8}$ ve $x_\beta = \frac{-2.a.(1+p)}{8}$ alınarak Denklem (3.25)'teki ifade ile

birlikte Denklem (3.26)'da yerine konulursa,

$$\phi_{11} = \frac{1}{2} . \left[\psi_1'' - \frac{1}{r} . \psi_1' \right] + \frac{\psi_1'}{r}$$

bulunur. Bulunan ifadede r değeri yerine yazılırsa, ifade

$$\phi_{11} = \frac{1}{2} \cdot \psi_1'' + \frac{\sqrt{2}}{a \cdot (1+p)} \cdot \psi_1'$$

şeklini alır.

[12] terimi;

İfadede α ve β değerleri farklı olduğu için ($\alpha = 1$, $\beta = 2$), Denklem (3.26)'da ikinci terim sıfırdır. Bu durumda $x_\alpha = \frac{-2a(1+p)}{8}$ ve $x_\beta = 0$ alınır ve matrisin ikinci elemanı için Denklem (3.25)'teki ifade ile birlikte Denklem (3.26)'da yerine konulursa [12] terimi;

$$\phi_{12} = 0$$

olarak bulunur.

Aynı şekilde matrisin diğer elemanları için işlemler yapıldıktan sonra, sırasıyla $X(3) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, 1, 1)$ ve $X(4) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, 1, -1)$ konumlarında bulunan bağ yüklerinin radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi şu şekilde elde edilir:

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(3-4) = \frac{1}{2} \cdot \psi_1'' \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{2}}{a \cdot (1+p)} \cdot \psi_1' \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.27)$$

$X(3) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, 1, 1)$ konumundaki bağ yükü ile $X(5) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, -1, -1)$

konumunda bulunan bağ yükünün radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(3-5) = \frac{1}{2} \cdot \psi_1'' \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{2}}{a \cdot (1+p)} \cdot \psi_1' \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (3.28)$$

olarak bulunur.

$$X(3) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (1, 1, 1) \text{ konumundaki bağ yükü ile } X(6) = \frac{a(1+p)}{8} \cdot (-1, -1, 1)$$

konumunda bulunan bağ yükünün radyal etkileşim kuvvet sabiti matrisi

$$-\{\Phi_{\alpha\beta}\}(3-6) = \frac{1}{2} \cdot \psi_1'' \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \frac{\sqrt{2}}{a \cdot (1+p)} \cdot \psi_1' \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.29)$$

olarak bulunur.

3.3 Bağ Bükülmesi Kuvvetleri

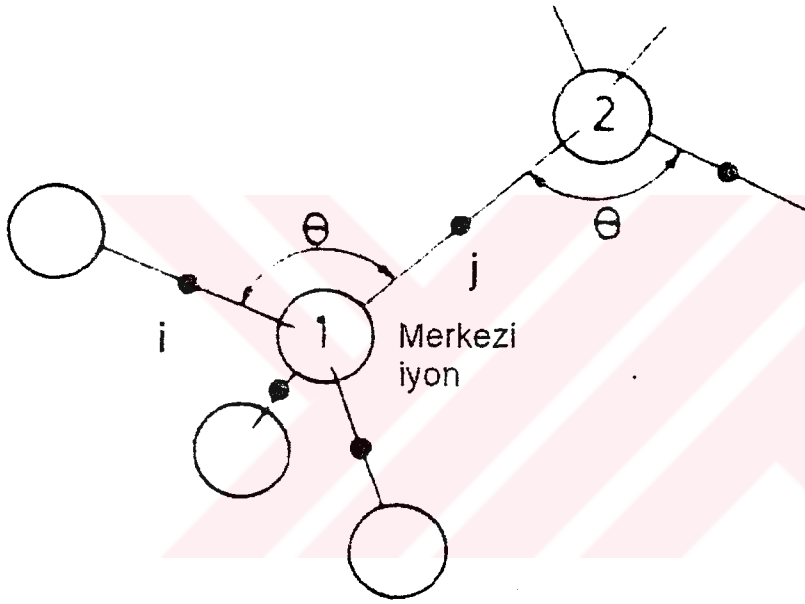
3.3.1 Bağ bükülmesi etkileşim matrisinin tanımlanması

Kovalent bağ ile iyonik bağ arasındaki en belirgin farklılık şudur: iyonik bağda iki parçacık arasında etkileşme merkezi olur ve bu etkileşmeler hesaba katılır, kovalent bağda ise, merkezi olmayan etkileşmeler veya bağ bükülmesi etkisi göz önüne alınır. Diğer bir anlatımla kovalent bağlı iki parçacık arası etkileşmeler ele alınırken parçacıkların diğer parçacıklarla olan bağ etkileşmeleri de dahil edilmelidir. Bu sebepten bağ bükülmelerinin etkileri yarı iletkenlerin örgü dinamiği hesaplamalarında önemli bir yer işgal etmektedirler. BCM birim hücresinde bağ bükülmesi Şekil 3.2'de görülmektedir. Adyabatik bağ yükü model'de bağ bükülmelerinin etkisi hesaplanırken, *Keating potansiyeli* [8] kullanılır.

Merkezi iyon (Δ), ve kendisine en yakın iki bağ yükü sırasıyla i ve j olmak üzere Keating potansiyeli,

$$V_{bb}^{(\Delta)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B_{\Delta} \cdot (X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j} + a_{\Delta}^2)^2}{4 \cdot a_{\Delta}^2} \quad (3.30)$$

ile verilir. Denklemdaki $X_{\Delta i}$ ve $X_{\Delta j}$ ifadeleri i ve j bağ yüklerinin merkezi iyon olan vektörel uzaklıklarını, B_{Δ} kuvvet sabitini, a_{Δ}^2 ise $(-X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j})$ ifadesinin dengedeki değerini gösterir.



Şekil 3.2 BCM birim hücresinde bağ bükülmesi

Keating kuvvet sabiti

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j) = -\frac{\partial}{\partial X_{\beta}(j)} \cdot \frac{\partial V_{bb}^{(\Delta)}}{\partial X_{\alpha}(i)} \quad (3.31)$$

ifadesiyle verilir. Denklem (3.30)'daki Keating potansiyeli ifadesi bu denklemde yerine yazılırsa,

$$\frac{\partial V_{bb}^{(\Delta)}}{\partial X_{\alpha}(i)} = \frac{\partial}{\partial X_{\alpha}(i)} \left[\frac{1}{2} B_{\Delta} \sum_{\gamma=1,3} \left((X_{\gamma}(i) - X_{\gamma}(\Delta)) \cdot (X_{\gamma}(j) - X_{\gamma}(\Delta)) + a_{\Delta}^2 \right)^2 / 4.a_{\Delta}^2 \right]$$

bulunur. Denklem $\gamma = \alpha$ olduğunda bir anlam ifade eder. Bu durumda çözüm yapılırsa,

$$\frac{\partial V_{bb}^{(\Delta)}}{\partial X_{\alpha}(i)} = B_{\Delta} \cdot \frac{(X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j} + a_{\Delta}^2) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))}{4.a_{\Delta}^2} \quad (3.32)$$

bulunur. Bu çözüm Denklem (3.31)'de yerine konular ve işlemler sürdürülürse,

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j) = -\frac{\partial}{\partial X_{\beta}(j)} \cdot \left[\frac{B_{\Delta} \cdot (X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j} + a_{\Delta}^2) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))}{4.a_{\Delta}^2} \right]$$

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j) = -\frac{\partial}{\partial X_{\beta}(j)} \cdot \left(\frac{B_{\Delta} \cdot [(X_{\gamma}(i) - X_{\gamma}(\Delta)) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta)) + a_{\Delta}^2]}{4.a_{\Delta}^2} \right)$$

$$\times \left(\frac{(X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))}{4.a_{\Delta}^2} \right)$$

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j) = -\frac{B_{\Delta}}{4.a_{\Delta}^2} \cdot [(X_{\beta}(i) - X_{\beta}(\Delta)) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))$$

$$- \delta_{\alpha\beta} (X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j} + a_{\Delta}^2)]$$

sonucuna ulaşılır. Bulunan bu ifadede $a_{\Delta}^2 = -X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j}$ olduğundan, parantez içindeki ikinci terim sıfır olur. Böylece Keating kuvvet sabiti ifadesinin son şekli

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(i; j) = -\frac{B_{\Delta}}{4.a_{\Delta}^2} \cdot [(X_{\beta}(i) - X_{\beta}(\Delta)) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))] \quad (3.33)$$

olarak bulunur.

3.3.2 Bağ yükü – bağ yükü etkileşimi Keating kuvvet sabiti matrisleri

Merkezi iyonun konumu $X(\Delta) = (0,0,0)$, i ve j bağ yüklerinin konumları da sırasıyla

$$X_{\Delta i}(3) = \frac{a(1+p)}{8}(1,1,1) \quad \text{ve} \quad X_{\Delta j}(4) = \frac{a(1+p)}{8}(-1, 1,-1) \quad \text{olmak üzere, konum}$$

ifadeleri Keating kuvvet sabiti ifadesi olan Denklem (3.33)'te yerine yazılarak, (3x3) boyutunda olan bağ yükü – bağ yükü etkileşimi Keating kuvvet sabiti bulunur.

Öncelikle a_{Δ}^2 'nin dengesindeki değeri hesaplanırsa,

$$X_{\Delta i} = X(i) - X(\Delta)$$

$$X_{\Delta j} = X(j) - X(\Delta)$$

$$a_{\Delta}^2 = -X_{\Delta i} \times X_{\Delta j}$$

$$a_{\Delta}^2 = -\left(\frac{a(1+p)}{8}(1,1,1) \times \frac{a(1+p)}{8}(-1, 1,-1) \right)$$

$$a_{\Delta}^2 = -\left(\frac{a(1+p)}{8} \right)^2 \quad (3.34)$$

bulunur.

[11] terimi:

Bu terimde α ve β değerleri aynı olduğu için ($\alpha = 1$, $\beta = 1$), bağ yüklerinin konum ifadelerinin ilk terimleri alınarak Denklem (3.33)'te yerine yazılırsa,

$$\phi_{11} = \frac{B_1}{4.a_\Delta^2} \cdot [(X_1(i) - X_1(\Delta)) \cdot (X_1(j) - X_1(\Delta))]$$

$$\phi_{11} = \frac{B_1}{4.a_\Delta^2} \cdot \left[\left(\frac{a.(1+p)}{8} (1) - (0) \right) \cdot \left(\frac{a.(1+p)}{8} (-1) - (0) \right) \right]$$

$$\phi_{11} = \frac{B_1}{4}$$

sonucu bulunur. Aynı şekilde diğer matris elemanları da bulunarak sırasıyla $X_{\Delta'}(3) = \frac{a.(1+p)}{8} (1,1,1)$ ve $X_{\Delta'}(4) = \frac{a.(1+p)}{8} (-1, 1,-1)$ konumlarında bulunan bağ yüklerinin etkileşiminin Keating kuvvet sabiti matrisi,

$$-\Phi_{\alpha\beta}^k(3-4) = \frac{B_1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.35)$$

şeklinde yazılır.

$$X_{\Delta'}(3) = \frac{a.(1+p)}{8} (1,1,1) \text{ konumundaki bağ yükü ile } X_{\Delta'}(5) = \frac{a.(1+p)}{8} (1,-1,-1)$$

konumunda bulunan bağ yükü etkileşiminin Keating kuvvet sabiti matrisi

$$-\Phi_{\alpha\beta}^k(3-5) = \frac{B_1}{4} \cdot \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

olarak yazılır.

$\dot{X}_{\Delta}(3) = \frac{a.(1+p)}{8} . (1,1,1)$ konumundaki bağ yükü ile $X_{\Delta}(6) = \frac{a.(1+p)}{8} . (-1, -1, 1)$

konumunda bulunan bağ yükü etkileşiminin Keating kuvvet sabiti matrisi ise

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(3-6) = \frac{B_1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (3.36)$$

formunda ifade edilir.

3.3.3 İyon – bağ yükü etkileşimi Keating kuvvet sabiti matrisleri

Denklem (3.31) iyon – bağ yükü etkileşimi için

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(\Delta; i) = -\frac{\partial}{\partial X_{\beta}(\Delta)} \cdot \frac{\partial V_{bb}^{(\Delta)}}{\partial X_{\alpha}(i)} \quad (3.37)$$

olarak yazılır. Denklemde, (3.32) eşitliğindeki ifade yerine konular ve çözüm yapılırsa;

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(\Delta; i) = -\frac{\partial}{\partial X_{\beta}(\Delta)} \left(B_{\Delta} \cdot \frac{(X_{\Delta i} \cdot X_{\Delta j} + a_{\Delta}^2) \cdot (X_{\alpha}(j) - X_{\alpha}(\Delta))}{4 \cdot a_{\Delta}^2} \right)$$

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(\Delta; i) = \sum_j \frac{B_{\Delta}}{4 \cdot a_{\Delta}^2} \cdot (X_{\beta}(j) - X_{\beta}(\Delta)) (X_{\alpha}(i) - X_{\alpha}(j) - 2X_{\alpha}(\Delta))$$

ifadesine ulaşılır. Bu ifadede j üzerinden toplam alınması, diğer bağ yüklerinin katkılarının toplanması anlamına gelir. Böylece tüm katkılar toplanarak elde edilen iyon (1) – bağ yükü (3) etkileşimi Keating kuvvet sabiti matrisi [21],

$$-\Phi_{\alpha\beta}^K(1-3) = \frac{B_1}{4} \begin{pmatrix} 2 & -2 & -2 \\ -2 & 2 & -2 \\ -2 & -2 & 2 \end{pmatrix} \quad (3.38)$$

olarak elde edilir.

3.4 Coulomb Etkileşmeleri

Elektrostatik etkileşmeler uzun menzillidir ve basit bir matematiksel ifade ile temsil edilirler. Yükleri sırasıyla Q_b ve $Q_{b'}$ olan b ve b' iyonlarının Coulomb etkileşimi potansiyel ifadesi

$$\Phi_{\alpha\beta}^C = \frac{Q_b Q_{b'}}{4\pi\epsilon r} \quad (3.39)$$

ile verilir. Coulomb kuvvet sabiti matrisi ifadesi $\Phi_{\alpha\beta}^C(lb;l'b')$, coulomb etkileşmelerinden türetilir:

$$\Phi_{\alpha\beta}^C(lb;l'b') = \sum_{r'} \frac{\partial^2}{\partial x_\alpha \partial x_\beta} \left(\frac{Q_b \cdot Q_{b'}}{\epsilon \cdot r} \right)_{r=x(lb;l'b')} \quad (3.40)$$

Coulomb etkileşmeleri kuvvet sabiti ifadesi olan Denklem (3.40)'da matematiksel işlemler yapılırsa ifade

$$\Phi_{\alpha\beta}^C(lb;l'b') = \frac{1}{\epsilon} \sum_{r'} Q_b \cdot Q_{b'} \left[\frac{3x_\alpha x_\beta}{r^5} - \delta_{\alpha\beta} \cdot \frac{1}{r^3} \right] \quad (lb \neq l'b') \quad (3.41)$$

şeklini alır. Bu ifade b ile b' arasındaki tüm Coulomb etkileşmelerini içerir. Bu etkileşmeler $(5-10)A^0$ arasında sınırlandırılır. Uzun mesafedeki etkileşmeler ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Burada iyon-iyon, iyon-BC, BC-BC etkileşmelerini hesaplayabilmek için Ewald toplam metodu kullanılır [34]. Bu toplam metodu

kullanılarak bulunan Coulomb matrisi 18x18 boyutlarındadır. Bu matriste iyon-iyon Coulomb etkileşim matrisi C_R , iyon-BC Coulomb etkileşim matrisi C_T , BC-iyon Coulomb etkileşim matrisi C_T^+ , BC-BC Coulomb etkileşim matrisi C_S ile gösterilir. Matrislerin boyutları sırasıyla C_R (6x6), C_T (6x12), C_S (12x12) olarak alınır. Böylece radyal etkileşim Coulomb toplam matrisi ifadesi;

$$C_{\alpha\beta=x,y,z}^C(bb';q) = \frac{e^2}{V_a} \cdot \frac{Z^2}{\varepsilon} \begin{bmatrix} 4C_R & -2C_T \\ -2C_T^+ & C_S \end{bmatrix}$$

olarak yazılır. Burada ε dielektrik sabitini, e elektronun yükünü ve Z^2/ε ise Coulomb etkileşimleri için her bir yarıiletkende farklılık gösteren kuvvet sabiti parametresidir. Bu ifade ile tanımlanan Coulomb matrisi

$$C_{RR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} C_R \\ C_T^+ \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} C_T \\ C_S \end{bmatrix} \end{bmatrix}_{18 \times 18}$$

$\begin{matrix} \text{6x6} & \text{6x12} \\ \text{12x6} & \text{12x12} \end{matrix}$

olarak bulunur. Matristeki C_T^+ matrisi C_T matrisinin transpozudur.

Yukarıda, tüm etkileşimler tanımlandı ve bunlara ait kuvvet sabiti matrisleri bulundu. Buradan sonra birim hücrenin toplam enerji hesabına geçilebilir.

3.5 Birim Hücrenin Toplam Enerji Hesaplamaları

Yukarıdaki hesaplamaların toplamı olarak birim hücrenin toplam enerjisi şu şekilde yazılabilir [17,20]:

$$\begin{aligned}
E = & 4\phi_{i-i}(r) + 4\phi_{1-BC}(r_1) + 4\phi_{2-BC}(r_2) + 6[V_{bb}^1 + V_{bb}^2] \\
& + 6 \left[\psi_1 \cdot \left(\frac{(1+p)}{2} \cdot \frac{4r}{\sqrt{6}} \right) + \psi_2 \cdot \left(\frac{(1-p)}{2} \cdot \frac{4r}{\sqrt{6}} \right) \right] - \alpha_M \cdot \frac{4Z^2 e^2}{\epsilon \cdot r}
\end{aligned} \tag{3.42}$$

İfadedeki son terim toplam Coulomb enerjisini, ψ_1 ve ψ_2 bağ yükleri arasındaki etkileşim potansiyelini gösterir.

Denklem (3.42)'deki, sırasıyla iyon-iyon, iyon(1)-BC, iyon(2)-BC etkileşmelerinin türevlerini gösteren ϕ'_{i-i} , ϕ'_{1-BC} ve ϕ'_{2-BC} ifadelerinin kristalin denge durumundaki hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

Denge durumunda enerji,

$$\left. \frac{\partial E}{\partial r} \right|_{r=r_0} = 0 \tag{3.43}$$

$$\left. \frac{\partial E}{\partial p} \right|_{p=0.25} = 0 \tag{3.44}$$

ifadelerinden elde edilir.

Yarıiletkenin iyon(1)-BC ve iyon(2)-BC etkileşimlerinin türevleri arasında şu şekilde bir ilişki vardır:

$$\begin{aligned}
(1+p) \cdot \phi'_{1-BC} + (1-p) \cdot \phi'_{2-BC} &= 0 \\
\phi'_{i-i} &= -\alpha_M \frac{Z^2 e^2}{\epsilon \cdot r_0^2}
\end{aligned} \tag{3.45}$$

Bu ifade V_a ile çarpılıp bölünürse,

$$\phi'_{i-i} = -\alpha_M \frac{Z^2 V_a}{\epsilon r_0^2} \cdot \frac{e^2}{V_a}$$

olur. Burada $\frac{e^2}{V_a}$ terimi 1 alınır ve denklemin her iki tarafı r_0 ile bölünürse,

$$\frac{\phi'_{i-i}}{r_0} = -\alpha_M \frac{V_a}{r_0^3} \cdot \frac{Z^2}{\epsilon} \quad (3.46)$$

sonucuna ulaşılır.

Yüzey merkezli yapıda birim hücre hacmi

$$V_a = \frac{a^3}{4} \quad (3.47)$$

ile verilir.

Çinko sülfür yapıda (0,0,0) konumunda bulunan iyonun en yakın iyonun konumu $\frac{a}{4}(1,1,1)$ 'dir. Buradan uzaklık ifadesi için,

$$r = \frac{a\sqrt{3}}{4}$$

sonucu bulunur. Bu ifadeden a çekilirse;

$$a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$$

olduğu görülür. Örgü sabiti için bulunan bu ifade Denklem (3.47)'da yerine yazılırsa sonuç

$$V_a = \frac{16r^3}{3\sqrt{3}}$$

halini alır. Hacim için elde edilen bu eşitlik Denklem (3.46)'de yerine yazılırsa;

$$\frac{\phi'_{i-i}}{r_0} = -\alpha_M \cdot \frac{16}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{Z^2}{\varepsilon} \quad (3.48)$$

ifadesine ulaşılır.

İyon(1)-BC etkileşimi türev ifadesi için toplam enerji ifadesinin p faktörüne göre türevi alınırsa,

$$\frac{\phi'_{1-BC}}{r_1} = \frac{2(1-p)}{(1+p)} \cdot \frac{\partial \alpha_M}{\partial p} \cdot \frac{Z^2 \cdot e^2}{\varepsilon \cdot r_0^3} \quad (3.49)$$

ifadesine ulaşılır. Bu eşitliğin her iki tarafı V_a ile çarpılıp bölünürse;

$$\frac{\phi'_{1-BC}}{r_1} = \frac{2(1-p)}{(1+p)} \cdot \frac{\partial \alpha_M}{\partial p} \cdot \frac{V_a}{r_0^3} \cdot \frac{Z^2}{\varepsilon}$$

olduğu görülür. Bu sonuç ifadesinde yer alan $\frac{\partial \alpha_M}{\partial p}$ ifadesi III-V grubu yarıiletkenler için 2.764 olarak alınır ve V_a değeri yerine yazılıp hesaplamalar yapılırsa,

$$\frac{\phi'_{1-BC}}{r_1} = (8,51) \cdot \frac{2(1-p)}{(1+p)} \cdot \frac{Z^2}{\varepsilon}$$

eşitliğine ulaşılır.

Aynı şekilde iyon(2)-BC etkileşimi türev ifadesi için de toplam enerji ifadesinin p faktörüne göre türevi alınırsa,

$$\frac{\phi'_{2-BC}}{r_2} = -\frac{2(1-p)}{(1+p)} \cdot \frac{\partial \alpha_M}{\partial p} \cdot \frac{Z^2 \cdot e^2}{\epsilon \cdot r_0^3} \quad (3.50)$$

bulunur. Bu eşitlik için yukarıdaki işlemler tekrarlanırsa,

$$\frac{\phi'_{2-BC}}{r_2} = -(8,51) \cdot \frac{2(1+p)}{(1-p)} \cdot \frac{Z^2}{\epsilon}$$

sonucu elde edilir.

BCM'de altı serbest parametre vardır. Bunlar sırasıyla iyon-iyon (ϕ''_{i-i}), iyon(1)-BC(ϕ''_{1-BC}), iyon(2)-BC(ϕ''_{1-BC}), BC-BC(B_1), Bağ bükülmesi (B_2) ve Coulomb (Z^2 / ϵ) etkileşme parametreleridir. Bu parametreler homopolar yarıiletkenler için 4 tanedir. Bunun sebebi bağ yükünün iyonlar arası bağın tam ortasında yer alacak şekilde yerleşmesidir. Bu da iyon(1)-BC(ϕ''_{1-BC}) ve iyon(2)-BC(ϕ''_{1-BC}) etkileşmeleri ile BC-BC(B_1) ve Bağ bükülmesi (B_2) etkileşmelerinin birbirine eşit olması anlamını taşımaktadır.

3.6 BCM İçin C-Tipi Dinamik Matrisin Oluşturulması

BCM'de C-tipi dinamik matrisi bulabilmek için kısa menzil etkileşimleri tanımlanırsa, iyon-iyon etkileşimi kuvvet sabiti matrisi R, iyon-BC etkileşimi kuvvet sabiti matrisi T, BC-BC etkileşimi kuvvet sabiti matrisi S ile gösterilir. U ve W sırasıyla iyon ve BC'lerin dalga vektörü uzayında yer değiştirme sütun matrisleri olmak üzere yer değiştirme vektörleri alınarak dinamik denklemler yazılırsa;

$$M\omega^2 U = \left[R - \frac{4Z^2}{\varepsilon} C_R \right] U + \left[T - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T \right] W \quad (3.51)$$

$$m\omega^2 W = \left[T^+ - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T^+ \right] U + \left[S + \frac{Z^2}{\varepsilon} C_S \right] W \quad (3.52)$$

eşitlikleri bulunur. İfadede M ve m terimleri sırasıyla iyon ve BC kütlelerini gösterir. Adyabatik yaklaşıklıkla $m = 0$ alınıp Denklem (3.52) için işlemler yapılırsa, sonuçta olarak

$$W = - \left[S + \frac{Z^2}{\varepsilon} C_S \right]^{-1} \cdot \left[T^+ - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T^+ \right] U \quad (3.53)$$

ifadesi bulunur.

Denklem (3.53), Denklem (3.51)'de yerine konulursa,

$$M.\omega^2 U = \left[R + \frac{4Z^2}{\varepsilon} C_R \right] - \left[T - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T \right] \cdot \left[S + \frac{Z^2}{\varepsilon} C_S \right]^{-1} \cdot \left[T^+ - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T^+ \right] U$$

ifadesi bulunur. Buradan atomik hareketin etkin matrisi şu şekilde tanımlanabilir:

$$M.\omega^2 U = C^{ef} U$$

Yukarıdaki ifadeden etkin matris ifadesi

$$C^{ef} = \left[R + \frac{4Z^2}{\varepsilon} C_R \right] - \left[T - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T \right] \cdot \left[S + \frac{Z^2}{\varepsilon} C_S \right]^{-1} \cdot \left[T^+ - \frac{2Z^2}{\varepsilon} C_T^+ \right]$$

olarak yazılır. Bu matris bir kare matristir ve bu matris ifadesinden aşağıdaki bağıntı yardımıyla dispersiyon bağıntısı elde edilir; bu bağıntının çözümlenmesi bizi modlar arası ilişkinin tesbitine götürür. Dispersiyon bağıntısı;

$$\left[\frac{1}{M} \cdot C^{ef}(q) - \omega^2 I \right] U(q) = 0$$

olacak şekildedir.

Verilen dispersiyon bağıntısı her bir q dalga vektörü için $3p$ tane farklı moda sahiptir. Bunlardan üç tanesi akustik mod, $3p-3$ tanesi de optik moddur. Optik ve akustik mod arasındaki fark, akustik titreşimlerin $q \rightarrow 0$ limit durumunda ortaya çıkması ve ağır atomların titreşimi sonucu oluşmasıdır. Optik mod ise hafif atomların titreşimi sonucu ortaya çıkan moddur. Bu modlar enine ve boyuna olarak iki farklı şekilde gerçekleşir. Atomların titreşim yönü dalga vektörüne (q) dik ise enine titreşim, paralel ise boyuna titreşim olarak adlandırılır. Akustik ve optik modlardan herbiri enine ve boyuna titreşime sahiptir. Bu titreşimler sırasıyla enine akustik (TA), enine optik (TO), boyuna akustik (LA) ve boyuna optik (LO) olarak sınıflandırılır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL TEKNİKLER

4.1 Nötron Saçılması

Bu teknikte nötronların elastik olmayan saçılması yoluyla kristalin dispersiyon (dağılımı) eğrileri çizilir. Bu tekniği incelemeye geçmeden önce nötronların genel özelliklerine bakalım. Dalga özelliğine sahip parçacıkların etkileri maddenin mikroskobik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılabilir. Nötronların maddeden saçılan ışınlarının enerjilerinin artması veya azalması durumuna bakılarak sonuçların değerlendirilebilir olması bu amaç için önemli bir özelliktir.

Enerjisi E, momentumu p olan nötronun enerji ve momentum ifadeleri;

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \quad \text{ve} \quad p = \hbar k \quad (4.1)$$

ile verilir.

Burada $k = 2\pi / \lambda$ dalga vektörü, m ise nötronun kütlesidir. Nötron $1,675 \times 10^{-27}$ kg kütleyle sahip bir parçacık olup, saçılmalarında çekirdekten elastik (enerji değiştirmeksizin) ve inelastik olarak (enerji değiştirerek) ayrılabilir. Nötron ışınının dalga boyu $(1-5) \text{Å}$ mertebesinde dir. Bu da nötronun kararlı bir dalga vektörüne ve birim hücrede uzun bir aralıkta çalışılabilme özelliğine sahip olduğunu gösterir.

Bilindiği gibi nötronun elektriksel yükü sıfırdır. Bunun anlamı da elektronlarla etkileşmemesi ve elektrostatik kuvvetlerin etkisinde kalmamasıdır. Bundan dolayı maddenin manyetik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılabilir.

Nötronların atomlarla etkileşmesi iki şekilde olur. Birincisinde; şiddetli nükleer kuvvetler nedeniyle çekirdekler tarafından saçılırlar. Bu saçılma şiddeti, atom

numarasının artışıyla monoton olarak artmaz, bu yüzden hafif elementleri (özellikle hidrojen) içeren katıların yapısını belirlemek için, nötronlar X-ışınlarından daha kullanışlıdır. Çekirdek boyutu, nötron dalga boyundan çok küçük olduğundan nokta saçıcı gibi davranır ve saçılma şiddeti artan saçılma açısıyla azalmaz.

Nötronlarla atomlar arasındaki ikinci tip etkileşme, nötronların manyetik momentleri ile atomun manyetik momenti arasındaki manyetik kuvvetlerdir. Kuvvet, atomik momentin doğrultusuna bağlıdır, bu da katıdaki manyetik düzenin yapısını belirlemek için nötron kullanımına izin verir.

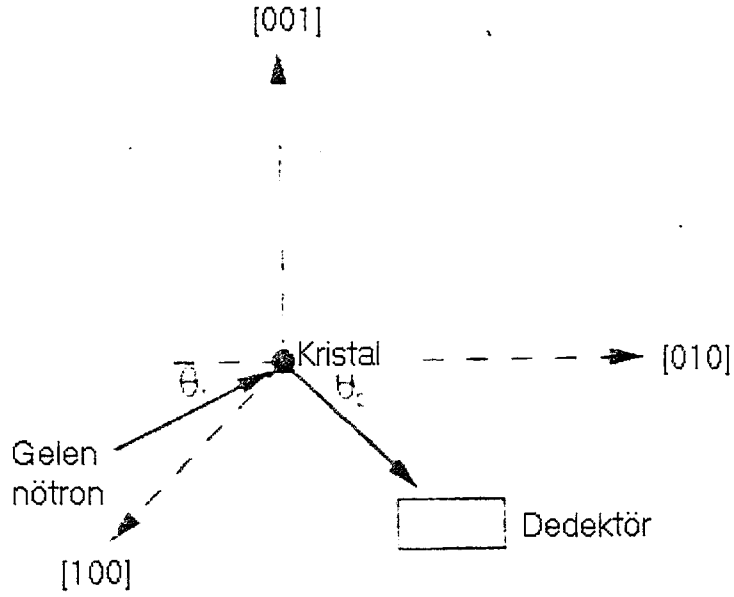
4.1.1 Nötronların elastik olmayan saçılması

Elde edilen nötron kristalde frekansı ω ve dalga vektörü k olan örgü dalgasıyla etkileşir. Nötron bu etkileşim sonucunda örgü dalgasından enerji alır veya örgü dalgasına enerji verir. Bu da nötronun kristalden farklı enerji ve momentum durumunda ayrılması demektir. Burada örgü dalgasıyla, nötron arasında yer değiştiren enerji ($\hbar\omega$) kuantumlu enerjisidir. Bu da fononun enerjisine karşılık gelir.

Nötron örgü dalgasından enerji almış ise bir fonon soğurmuş ve enerjisi ilk duruma göre $\hbar\omega$ kadar artmış demektir. Aynı zamanda momentum korunumuna göre nötronun momentumu da ilk momentumuna göre ($\hbar k$) kadar artmıştır. Buna göre fonon soğurması durumunda nötronun enerji ve momentum durumu aşağıdaki gibidir:

$$E_s = E_i + \hbar\omega$$

$$p_s = p_i + \hbar k$$



Şekil 4.1 Nötronların elastik olmayan saçılması

Eğer nötron örgü dalgasına enerji vermiş ise bir fonon açığa çıkarmış demektir. Fonon salınımında nötronun enerji ve momentum durumu,

$$E_s = E_i - \hbar\omega$$

$$p_s = p_i - \hbar k$$

şeklinde olur. Nötron saçılmasında saçılan nötronlar belirli bir yönde saçılırlar. Şekil (4.1)'de görüldüğü gibi saçılan nötronların analizinde detektör xy düzleminde ve y eksenine θ_2 açısı yapacak şekilde konulursa, kristalin konumuna göre bu düzlem üzerinde değişen konumları alabileceğinden, kristalin çok yönlü taranmasına imkan verir. Böylece kristalin fonon dispersiyon eğrileri elde edilir.

4.1.2 Nötron saçılmasının avantajları

1. Nötron saçılmasının verileri geniş bir aralığı kapsar böylece tüm fonon kolları ölçülebilir.
2. Nötron spektroskopisinde çevre şartları kolaylıkla kontrol altına alınabilir ve yalnızca istenen hedef hücrelerin incelenmesi mümkün olur.
3. Nötron ışınımının şiddeti, X ışınımının şiddetinden daha küçüktür ve nötron ışınımı sürekliidir.

4.1.3 Nötron saçılmasının dezavantajları

1. Raman spektroskopisi ve diğer yöntemlere göre pahalı bir yöntemdir; bu da hızlandırılmış nötronu elde etme gücünden kaynaklanmaktadır.
2. Saçılma atom çekirdeğinden gerçekleştiği için aynı atomun izotopları arasında da saçılmada değişim görülür.

4.2. Fotonların Elastik Olmayan Saçılması

Işık dalgaları da nötron saçılmasında olduğu gibi, kristalin örgü dalgasından elastik olmayan bir şekilde saçılabilir. Bu saçılma sırasında gelen foton ya bir fonon soğurarak saçılır ya da kristalden bir fonon yayınlanmasına sebep olur.

Kristalin örgü dalgasıyla etkileşen fotonun, örgü dalgasından bir fonon soğurması durumunda enerjisi, momentumu, frekansı ve dalga vektörü,

$$E_f = E_i + \hbar\omega \quad \omega_f = \omega_i + \omega$$

$$p_f = p_i + \hbar k \quad k_f = k_i + k$$

olarak belirlenir. Fotonun örgü dalgasına enerji vererek bir fonon açığa çıkarması durumunda enerji, momentum, frekans ve dalga vektörü,

$$E_f = E_i - \hbar\omega \quad \omega_f = \omega_i - \omega$$

$$p_f = p_i - \hbar q \quad k_f = k_i - k$$

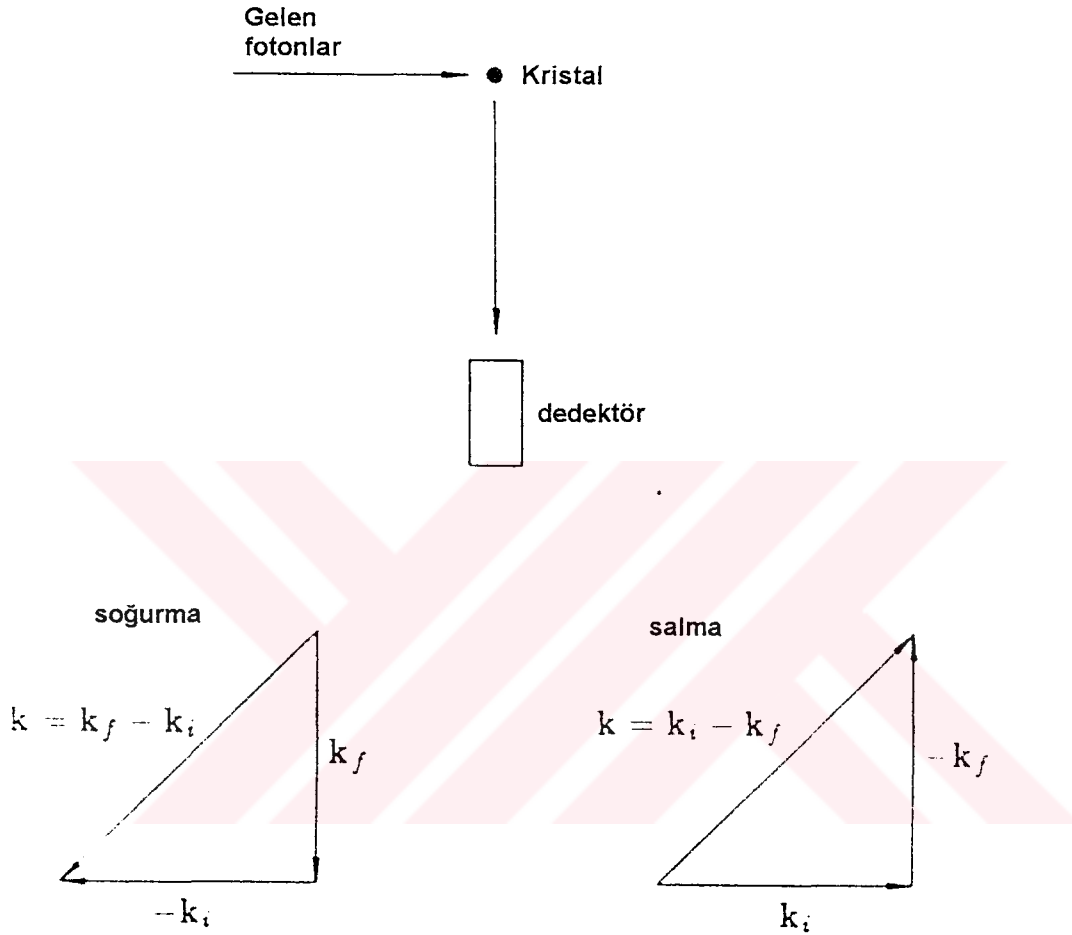
olarak bulunur. Burada ω_i gelen fotonun frekansını, ω_f saçılan fotonun frekansını, ω ise fonon frekansını gösterir. Benzer şekilde k_i gelen fotonun, k_f saçılan fotonun ve k ise kristalin dalga vektörünü gösterir.

Görülebilir ışığın enerjisi kristaldeki her bir fotonun enerjisinden çok daha büyüktür ($\omega \ll \omega_i$). Bundan dolayı gelen fotonun fonon soğurması veya açığa çıkarması enerjisinde çok küçük bir değişim meydana getirir. Bu da fotonun saçılma frekansının ve dalga vektörünün yaklaşık aynı kalacağını gösterir [$(\omega_f \cong \omega_i)$ ($k_f \cong k_i$)]. Bunu tespit edebilmek için ışık saçılması spektrometrelerinde dedektör gelen ışıkla 90° açı yapacak şekilde konur (Şekil 4.2). Bu durumda dalga vektörü için,

$$k = k_i \sqrt{2}$$

yazılabilir. Görünür ışığın dalga vektörü kristalin birinci Brillouin bölgesi boyutlarından çok küçüktür. Bu durumun bir sonucu olarak gelen fotonun fonon soğurması veya açığa çıkarması olayı Brillouin bölgesi merkezi yakınında gerçekleşir. Burada optik ve akustik olmak üzere iki tip fonon vardır. Optik fononun frekansı dolayısıyla enerjisi büyük ve k 'dan bağımsızdır. Bunun yanında akustik fononun frekansı küçük dolayısıyla enerjisi de küçük fakat k 'ya bağımlıdır. Bu, saçılmanın optik fononlardan gerçekleşmesi halinde frekansındaki değişimin daha belirgin halde gözleneceği anlamına gelir. Saçılma şayet akustik fononlardan olursa foton frekansındaki değişimi gözlemlemek zor olur. Bu iki saçılma durumu farklı iki adla anılır; saçılmanın optik fononlardan gerçekleşmesi durumuna *Raman saçılması*, akustik fononlardan gerçekleşmesi durumuna ise *Brillouin saçılması* adı verilir.

İlk olarak Raman saçılmasını göz önüne alalım. Saçılma optik fononlardan gerçekleştiği için ω fonon frekansı, k 'dan bağımsızdır. Bu durumda frekanstaki değişim



Şekil 4.2 Fotonların elastik olmayan saçılmasında soğurma ve yayma olayları

$$\Delta\omega = \omega_f - \omega_i \quad (4.2)$$

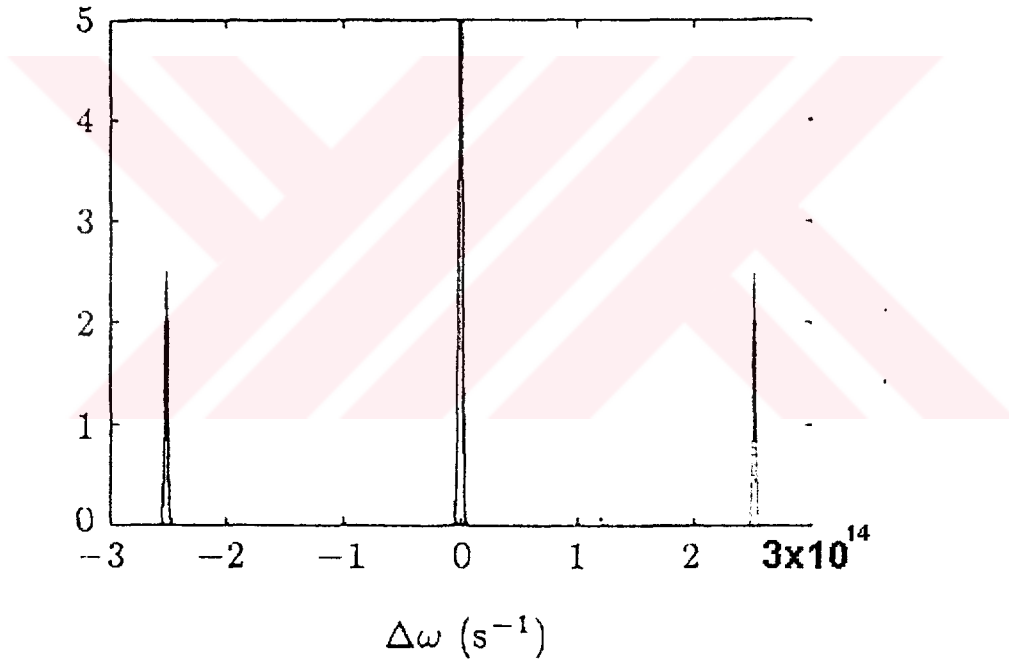
olarak verilir. Saçılan fotonun frekansı gelen fotonun frekansına ve kristal yöneltmelerine bağlı değildir. Bunun sebebi gelen fotonun ya bir fonon soğuracağı ya da bir fonon açığa çıkaracağı gerçeğidir. Yani gelen fotonun frekansı fonon frekansı kadar artar veya azalır.

Denklem (4.2) gelen fotonun fonon soğurması durumunda $+\omega$, fonon açığa çıkarması durumunda $-\omega$ 'ya eşit olur. Bu durum elmas kristali için Şekil 4.3'te görülmektedir [30]. Grafikte, merkezdeki büyük pik elastik saçılmaları gösterir. Diğer iki pik de sırasıyla fonon soğurulmasını ve fonon salınmasını gösterir. Böylece saçılan foton frekansı için şu eşitlikler yazılabilir:

$$\omega_f = \omega_i + \omega \text{ (soğurma)}$$

$$\omega_f = \omega_i - \omega \text{ (salma)}$$

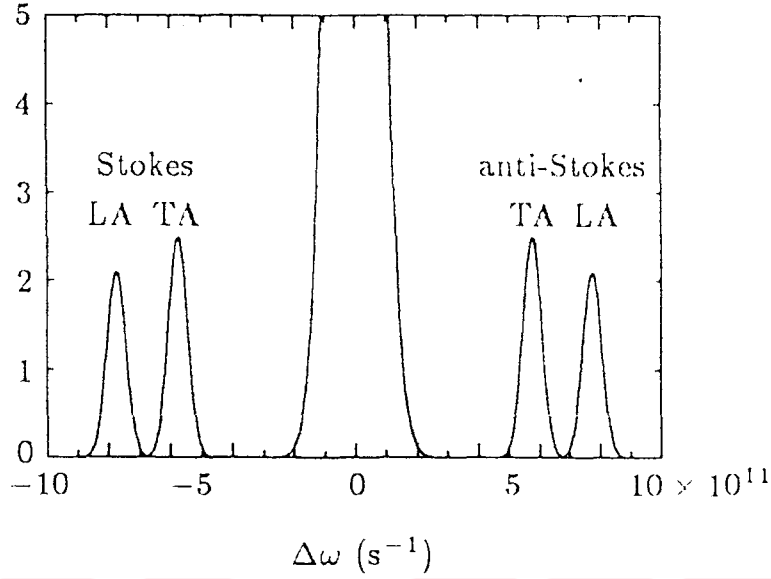
$\Delta\omega$ değeri elmas için deneysel olarak $\pm 2,513 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 Elmas kristalinin Raman spektrumu

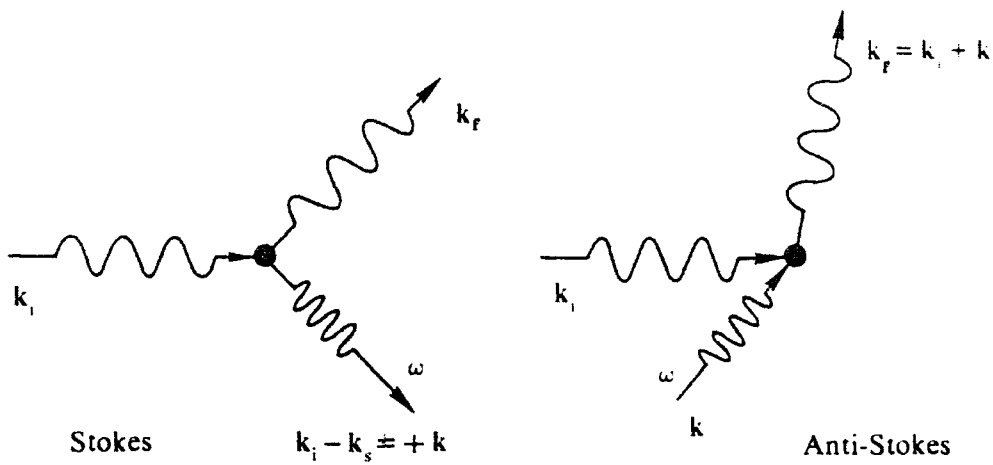
İkinci olarak Brillouin saçılmasını inceleyelim. Bu saçılma akustik fononlardan gerçekleştiği için k 'ya bağlıdır. Bundan dolayı saçılan fotonun frekansı gelen fotonun frekansına ve kristal yönelmelerine bağlıdır. Brillouin saçılmasının elmas için elde edilen grafiği Şekil 4.4'te görülmektedir [29]. Grafikte merkezin her iki yanında iki pik görülmektedir. Bunlardan birisi boyuna (LA), diğeri de enine

akustiktir (TA). Bu frekansların Raman spektrumunda görülmemesinin nedeni elmasın $k = 0$ yakınında boyuna ve enine optik fonon frekanslarının aynı olmasıdır.



Şekil 4.4 Elmas kristalinin Brillouin spektrumu

Brillouin saçılmasında fonon soğurulması Stokes, fonon açığa çıkarılması da Anti-Stokes olayı olarak adlandırılır. Bu saçılmaların şematik gösterimi Şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.5 Stokes ve Anti-stokes olayları

4.2.1 Raman saçılmasının avantajları ve dezavantajları

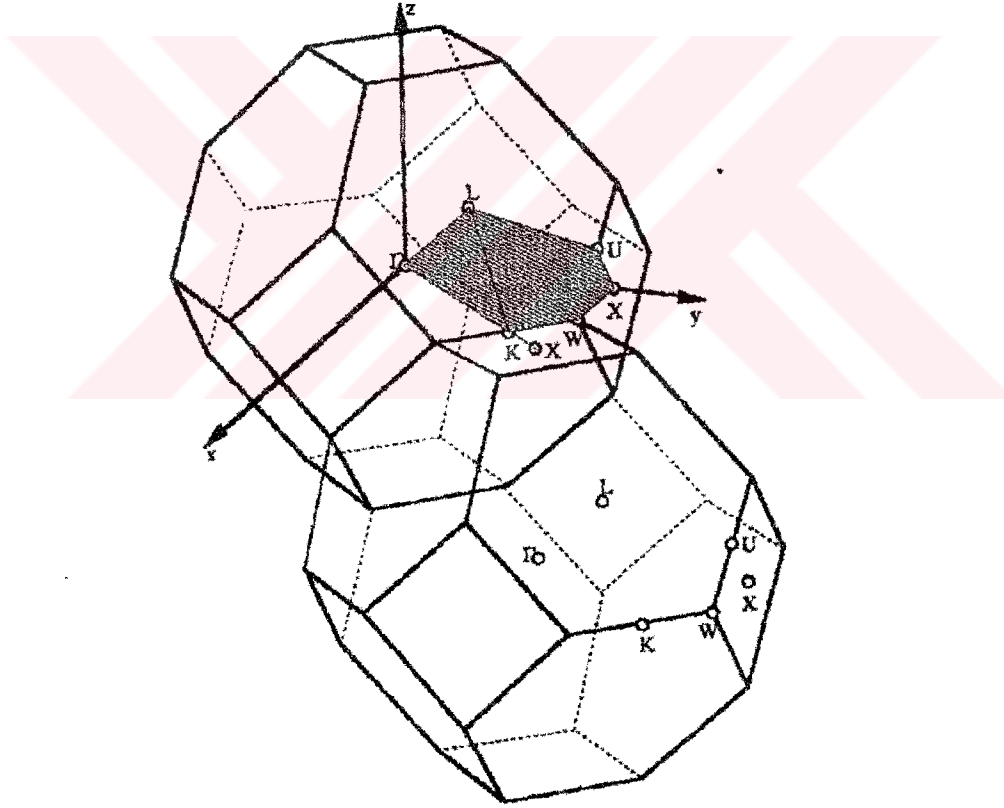
Bu saçılmada fonon pik frekansları ayrıntılı olarak incelenebilir. Ayrıca bu yöntem nötron saçılmasına göre daha ucuza gerçekleştirilebilir. Raman saçılmasında ışığın spektrum şiddeti yeterince yüksektir. Buna karşın ışık, nötron saçılmasında olduğu gibi çok geniş bir spektrum aralığı içermez. Burada sıcaklık ve basınç gibi dış faktörlerin de etkisi göz önüne alınmalıdır.



BÖLÜM 5. SONUÇLAR

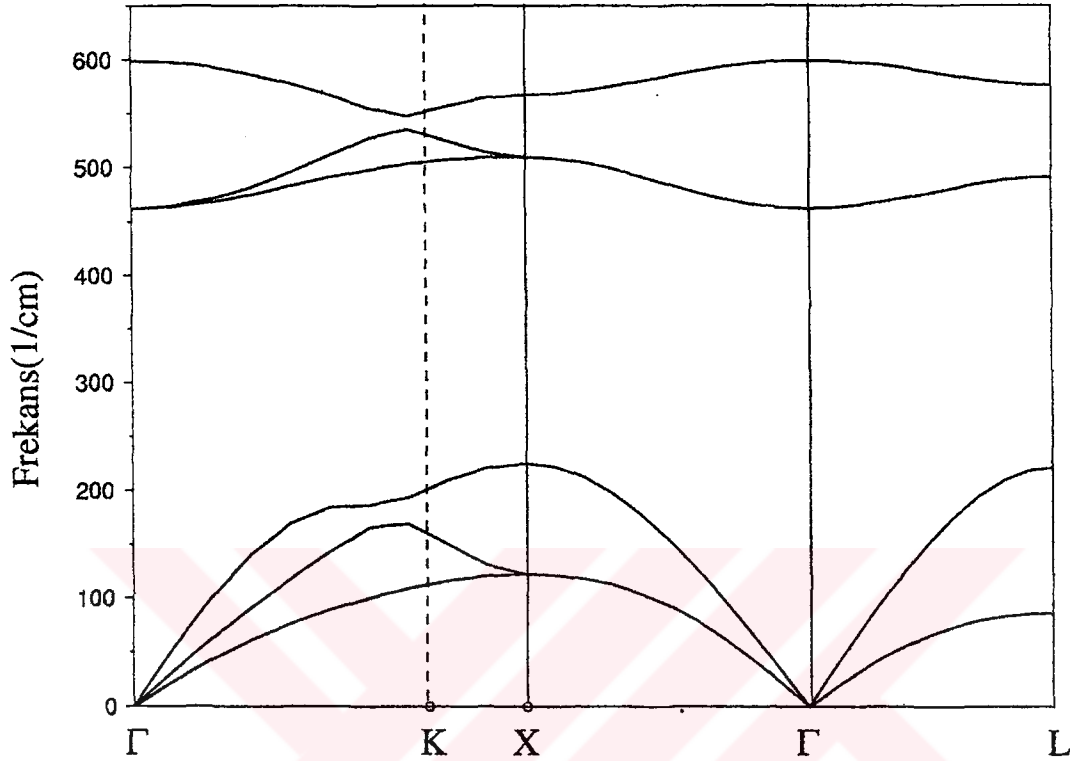
5.1 Giriş

Yarıiletkenlerin fonon dağılımını belirlemek için üç farklı yönde hesaplama yapmak gerekir. Bunlar $(\Gamma - K)$, $(X - \Gamma)$ ve $(\Gamma - L)$ yönleridir (Şekil 5.1). Bu çalışmada yapılan hesaplamaların fonon dağılım eğrileri, bu eğrilere ait durum yoğunluğu eğrileri, titreşim vektörleri ve yorumları takip eden bölümlerde verilecektir.



Şekil 5.1 Yüzey merkezli yapının Birinci Brillouin bölgesi

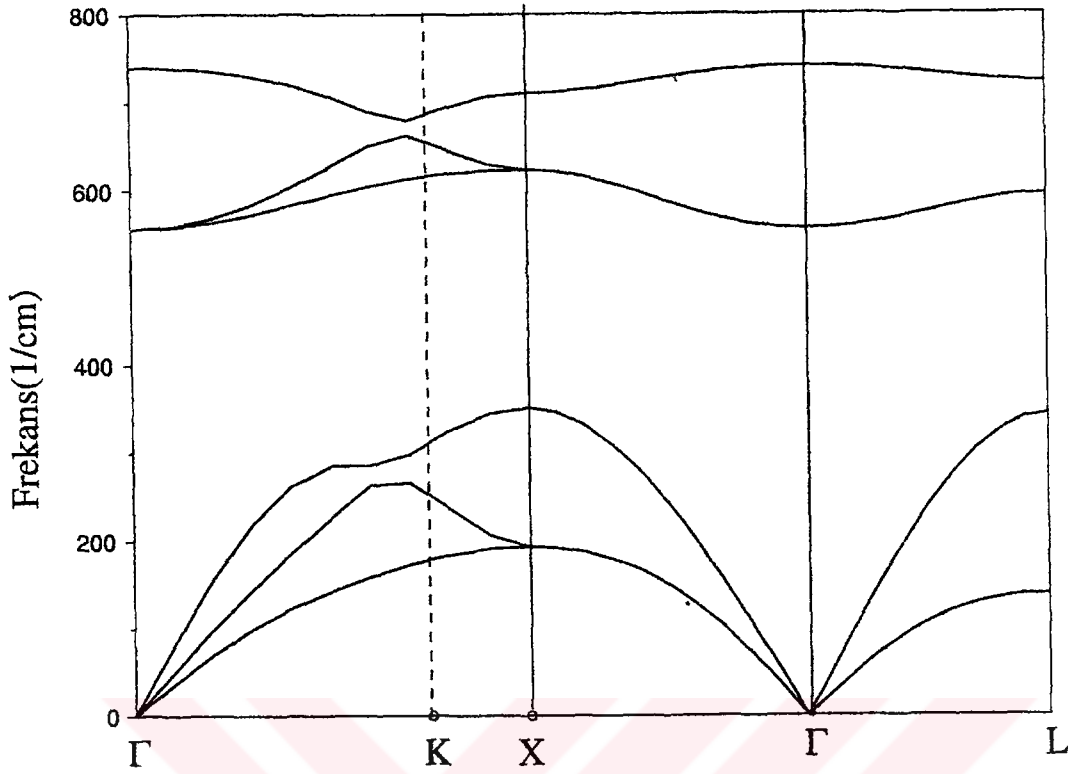
5.2 III-N Tipi Yarıiletkenlerin Hesaplanan Fonon Dispersiyon Eğrileri ve Yorumları



Şekil 5.2 InN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi

Yukarıda InN yarıiletkenine ait hesaplanan fonon dağılımı eğrisi görülmektedir. Bu eğri Ek A'da verilen fonon frekanslarına bakılarak yorumlanırsa şu sonuçlara ulaşılır:

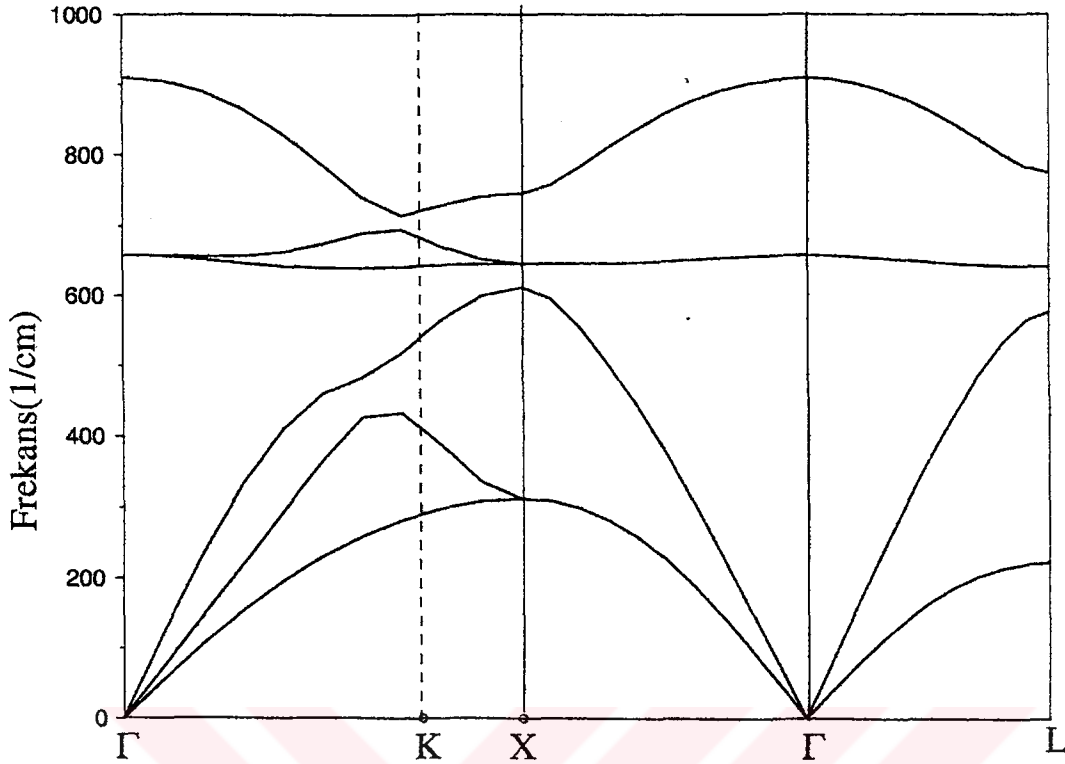
(0.7, 0.7, 0.0) dalga vektörüne sahip K noktasında enine akustik mod, boyuna akustik moda dönüşmüştür. Aynı noktada boyuna akustik dalın da enine akustik dala dönüştüğü görülür. Optik modlarda da aynı şekilde enine optik modun boyuna optik moda, bir diğer kolda ise boyuna optik modun enine optik moda dönüştüğü görülmektedir. (1.0, 1.0, 1.0) noktasında (X noktası) boyuna akustik modun aynı frekansa sahip akustik moda dönüşüp tek bir kol olarak devam ettiği görülür. [111] yönündeki titreşimlerde akustik modlar sırasıyla enine akustik ve boyuna akustik, optik modlar ise enine optik ve boyuna optik modlar olarak sıralanmıştır.



Şekil 5.3 GaN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi

Yukarıda GaN yarıiletkenine ait hesaplanan fonon dağılımı eğrisi görülmektedir. Bu eğri Ek A'da verilen fonon frekanslarına bakılarak yorumlanırsa şu sonuçlara ulaşılır:

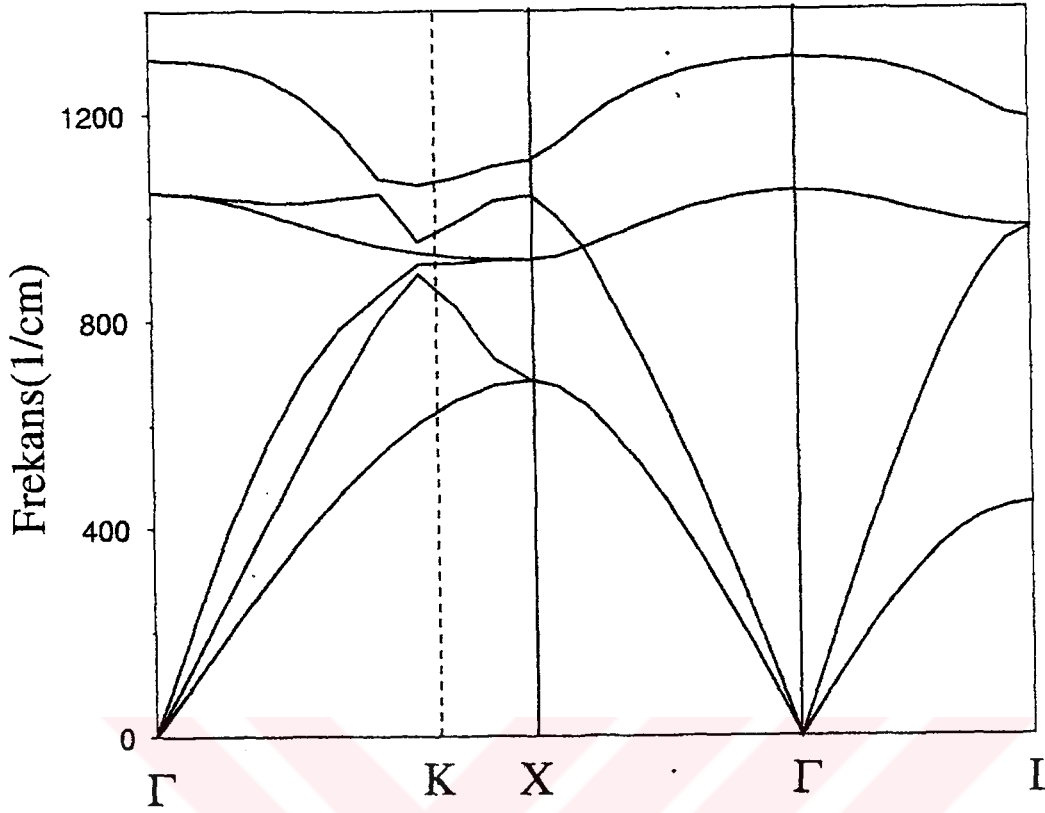
($\Gamma - K$) aralığında akustik modlar boyuna, enine ve boyuna akustik olarak sıralanmıştır. $(0.7, 0.7, 0.0)$ dalga vektörüne sahip K noktasında ise bu modlar dönüşüm yaparak, enine akustik modun, boyuna akustik moda dönüştüğü belirlenir. Aynı noktada boyuna akustik dalın da enine akustik dala dönüştüğü görülür. Optik modlarda da aynı şekilde enine optik modun boyuna optik moda, bir diğer kolda ise boyuna optik modun enine optik moda dönüştüğü görülmektedir. $(1.0, 1.0, 1.0)$ noktasında (X noktası) boyuna akustik modun aynı frekansa sahip akustik moda dönüşüp tek bir kol olarak devam ettiği görülür. $[111]$ yönündeki titreşimlerde akustik modlar sırasıyla enine akustik ve boyuna akustik, optik modlar ise enine optik ve boyuna optik modlar olarak sıralanmıştır.



Şekil 5.4 AlN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi

Yukarıda AlN yarıiletkenine ait hesaplanan fonon dağılımı eğrisi görülmektedir. Bu eğri Ek A'da verilen fonon frekanslarına bakılarak yorumlanırsa şu sonuçlara ulaşılır:

($\Gamma - K$) aralığında akustik modlar boyuna, enine ve boyuna akustik olarak sıralanmıştır. $(0.7, 0.7, 0.0)$ dalga vektörüne sahip K noktasında ise bu modlar dönüşüm yaparak, enine akustik modun, boyuna akustik moda dönüştüğü belirlenir. Aynı noktada boyuna akustik dalın da enine akustik dala dönüştüğü görülür. Optik modlarda da aynı şekilde enine optik modun boyuna optik moda, bir diğer kolda ise boyuna optik modun enine optik moda dönüştüğü görülmektedir. $(1.0, 1.0, 1.0)$ noktasında (X noktası) boyuna akustik modun aynı frekansa sahip akustik moda dönüşüp tek bir kol olarak devam ettiği görülür. $[111]$ yönündeki titreşimlerde akustik modlar sırasıyla enine akustik ve boyuna akustik, optik modlar ise enine optik ve boyuna optik modlar olarak sıralanmıştır.



Şekil 5.5 BN yarıiletkenine ait fonon dispersiyon eğrisi

Yukarıda BN yarıiletkenine ait hesaplanan fonon dağılımı eğrisi görülmektedir. Bu eğri Ek A'da verilen fonon frekanslarına bakılarak yorumlanırsa şu sonuçlara ulaşılır:

BN yarıiletkeni incelenen diğer yarıiletkenlere göre farklılık gösterir. Öncekilerde olduğu gibi (0.7, 0.7, 0.0) dalga vektörüne sahip K noktasında enine akustik fonon kolu, boyuna akustik fonon koluna dönüşmüştür. Aynı noktada daha büyük enerjiye sahip boyuna akustik kolun da enine akustik kola dönüştüğü görülür. Optik kollarda da aynı şekilde enine optik kolun boyuna optik kola, daha büyük enerjili bir diğer kolda ise boyuna optik modun enine optik moda dönüştüğü görülmektedir. (1.0, 1.0, 1.0) noktasında (X noktası) incelenen diğer yarıiletkenlerde (InN, GaN, AlN) akustik ve optik kollarda kendi aralarında bir çakışma gözlemlenirken burada akustik kol ile optik kol arasında çakışma görülmektedir. Bu çakışma Şekil 5.5'te (0.7, 0.7, 0.7) noktasında TA moda dönüşen modun (0.8, 0.8, 0.8) noktasında akustik kolun optik kollan kesişmesinden dolayı LO moda dönüştüğü görülür. Bu noktada optik fonon

kolundaki değişim ise K noktasında boyuna optik olan fononun enine akustik fonona dönüşmesidir.

X noktasında akustik kolda boyuna akustik modun enine akustik moda, enerjisi daha büyük olan enine akustik modun da boyuna akustik moda dönüştüğü görülür. Aynı noktada optik kolda, boyuna optik mod enine akustik moda, frekansı daha büyük olan diğer kolda ise enine optik mod boyuna optik moda dönüşür.

Şekil 5.5'te $(X - \Gamma)$ yönünde $(0.8, 0.0, 0.0)$ noktasında TA mod LA moda, aynı noktada 1000 cm^{-1} frekans değerindeki boyuna akustik mod, 940 cm^{-1} frekans değerinde enine akustik moda dönüşür. $(X - \Gamma)$ yönündeki bir diğer dönüşüm $(0.5, 0.0, 0.0)$ noktasında gerçekleşir. Bu noktada enine akustik modun enine optik moda dönüştüğü görülür. BN yarıiletkenindeki optik ve akustik fonon dallarının kendi aralarında ve birbirlerine geçişin fazla olmasının nedeni incelenen elementlerin atomik kütlelerinin birbirine yakın olmasındandır.

5.3 Durum Yoğunluğu Eğrileri Hesaplama Metodu, Hesaplanan Durum Yoğunluğu Eğrileri ve Yorumları

5.3.1 Kök örnekleme metodu (Root sampling metod)

Durum yoğunluğu hesaplamalarında kullanılan eşitliğin Brillouin bölgesi sınırları göz önüne alınarak kullanılması gerekir. Bu denklemin kullanılabilmesi için fonon frekanslarının belirlenmiş olması gerekmektedir. Hesaplamalarda kullanılan denklem

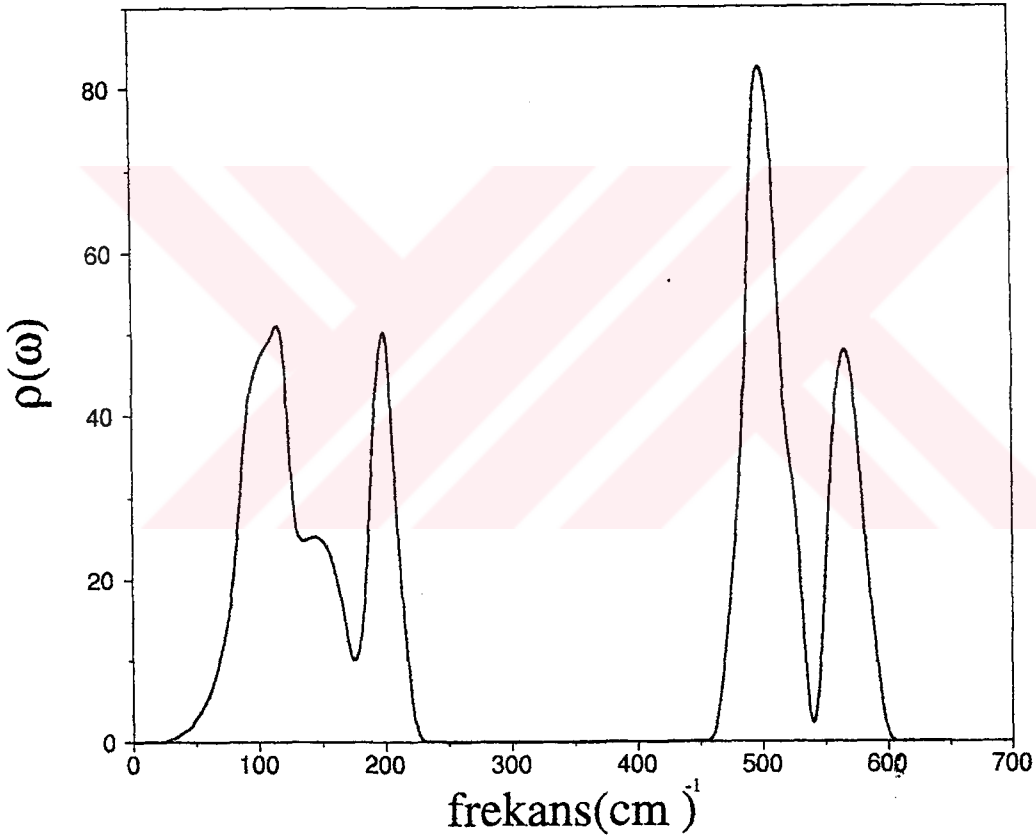
$$g(\omega) = \frac{N_0 \Omega}{8\pi^3} \sum_{qs} \delta(\omega - \omega(qs))$$

olarak verilir. Bu ifade ile fonon dağılımından durum yoğunluğunu hesaplayabilmek için Kronecker delta fonksiyonunu dirac delta fonksiyonuna dönüştürmek gerekir.

$$g(\omega) = \frac{N_0 \Omega}{8\pi^3} \sum_{q_v, s} \Theta(\omega - \omega(q_v, s))$$

ifadesiyle belirlenen sınır frekanslar ile hesaplanan frekans farkı $|\omega - \omega(q, s)| \leq \frac{\Delta\omega}{2}$ ise $\Theta = 1$ olur; diğer durumlarda ise sıfırdır. Burada $\Delta\omega \approx 0.005$ THz olarak alınır. Bu hesaplama yöntemi her bir frekans için ayrı ayrı gerçekleştirildiği için uzun zaman almaktadır. Hesaplamalar sonucunda frekans farkının sabit kaldığı noktalarda bir pik oluşmaktadır. Elde edilen pikler ile ilgili yorumlar 8. bölümde yapılacaktır.

5.3.2 Hesaplanan durum yoğunluğu eğrileri ve yorumları



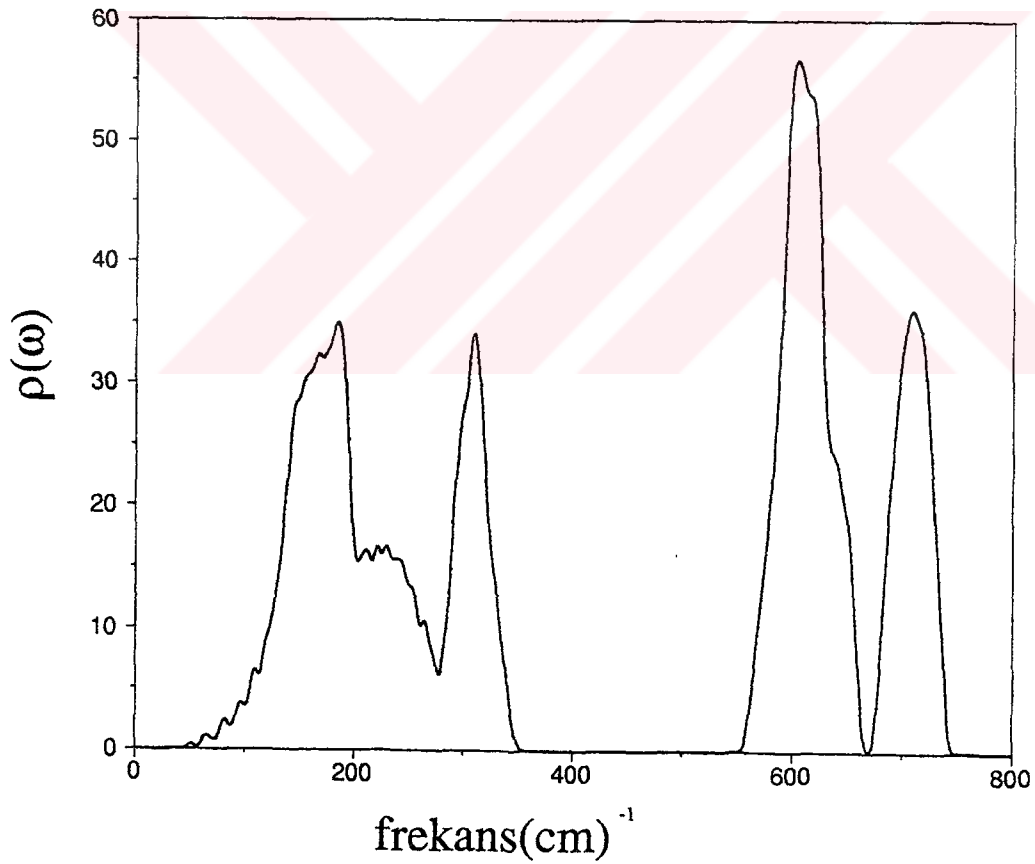
Şekil 5.6 InN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi

Durum yoğunluğu eğrileri fonon dispersiyonu eğrilerine göre çizilir. Bu çizimde fonon dispersiyonunda herhangi bir frekansta yığılma (üst üst binme) olduğunda durum yoğunluğu eğrisinde o noktada pik gözlemlenir. Bulunan bu pikin egrideki

yüksekliği o noktada yığılmanın yoğun olduğunu gösterir. Bu bilgiler ışığında Şekil (5.6)'daki durum yoğunluğu eğrisi incelenirse şu sonuçlara ulaşılır:

InN'e ait durum yoğunluğu eğrisinde akustik ve optik modlarda ayrı ayrı iki pik görülmektedir. Akustik kısımda oluşan ilk pik Şekil 5.2'deki fonon dağılımı eğrisinde ($\Gamma - X$) aralığında Γ 'dan X 'e giderken boyuna akustik fononların üst üste binmesinden dolayıdır. İkinci pik ise aynı yönde daha yüksek enerjili boyuna akustik fononların aynı değerlerde yoğunlaşmasından dolayı oluşur.

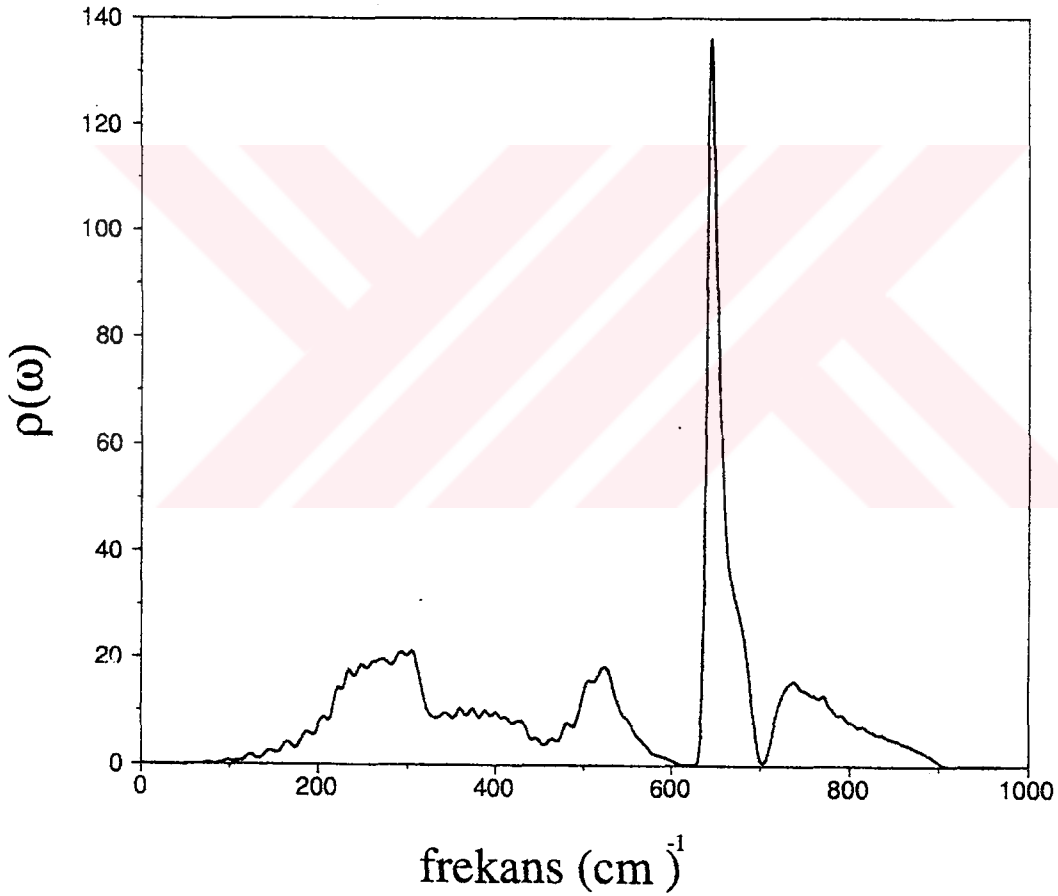
Eğrinin optik kısmındaki ilk pik Γ 'dan X 'e giderken enine optik fononların üst üste binmesi sonucu oluşur. İkinci pik ise ($X - \Gamma$) ve ($\Gamma - L$) yönlerinde daha yüksek enerjili boyuna optik fononların eşdeğerde yoğunlaşması sonucu oluşur.



Şekil 5.7 GaN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi

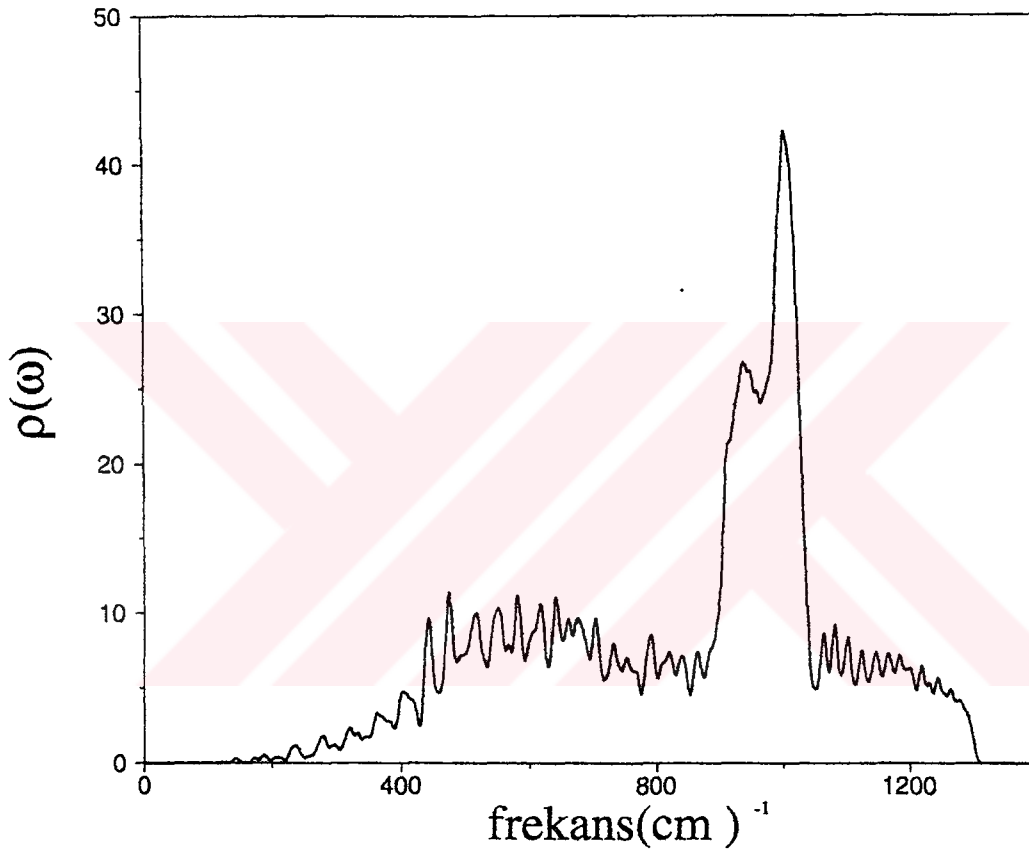
GaN'e ait durum yoğunluğu eğrisinde akustik ve optik modlarda ayrı ayrı iki pik görülmektedir. Akustik kısımdaki ilk pikin oluşması, Şekil 5.3'deki fonon dağılımı eğrisinde ($\Gamma - X$) aralığında Γ 'dan X'e giderken boyuna akustik fononların üst üste binmesinden dolayıdır. İkinci pik ise aynı yönde daha yüksek enerjili boyuna akustik fononların aynı değerlerde yoğunlaşmasından dolayı oluşur.

Eğrinin optik kısmındaki ilk pik Γ 'dan X'e giderken enine optik fononların üst üste binmesi sonucu oluşur. İkinci pik ise ($X - \Gamma$) ve ($\Gamma - L$) yönlerinde daha yüksek enerjili boyuna optik fononların eşdeğerde yoğunlaşması sonucu oluşur.



Şekil 5.8 AlN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi

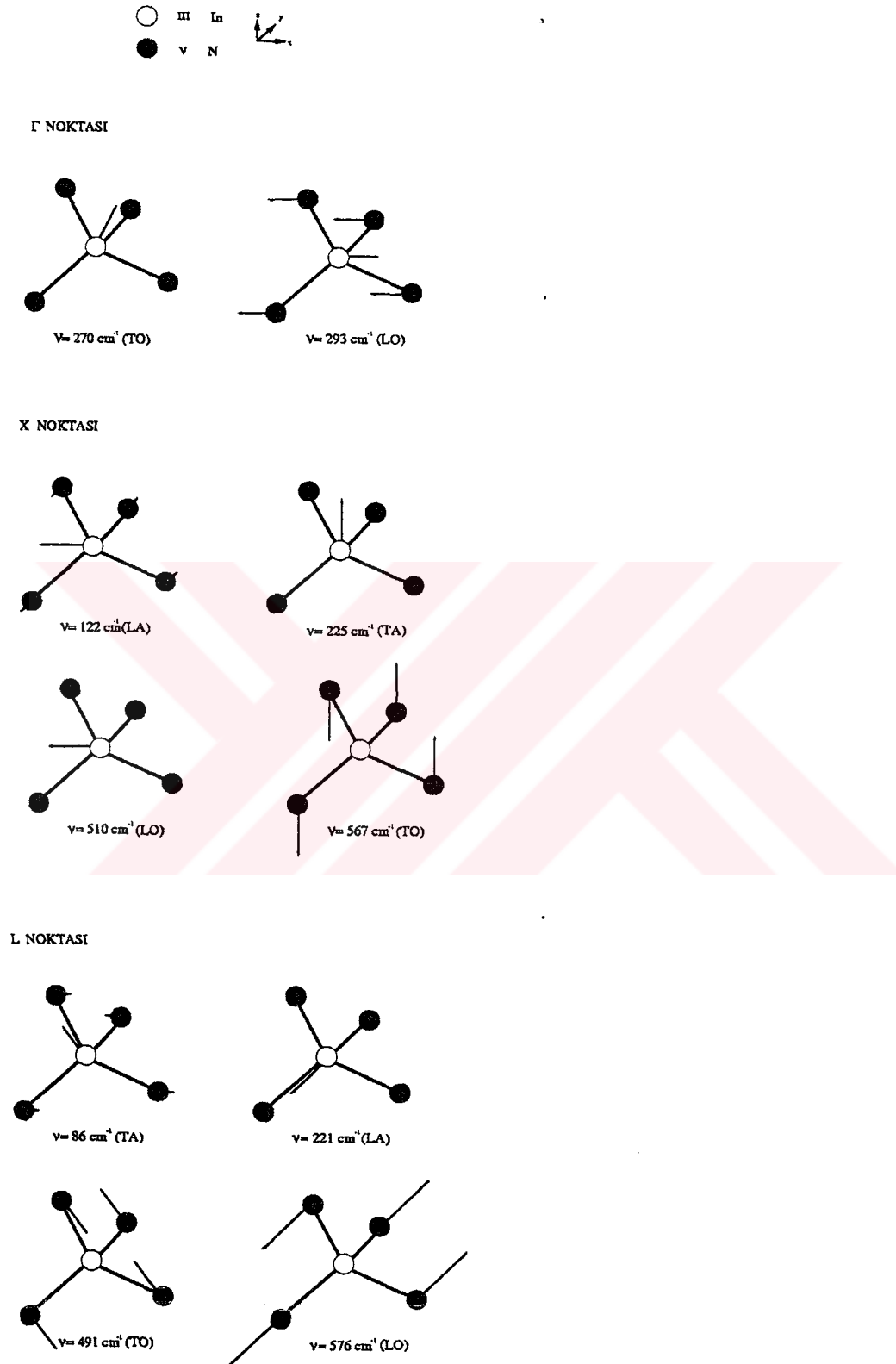
AlN'e ait durum yoğunluğu eğrisinde yalnızca bir tane keskin pik görülmektedir. Bunun sebebi Şekil 5.4'teki fonon dağılımı eğrisinde sadece $(X-\Gamma)$ ve $(\Gamma-L)$ yönlerinde 650 cm^{-1} frekans değeri civarında enine optik fononların üst üste binmesidir. Fonon dağılımı eğrisinde bu noktalar dışında frekanslar sürekli farklılık gösterdiği için durum yoğunluğu eğrisinde başka bir pik gözlenmemektedir.



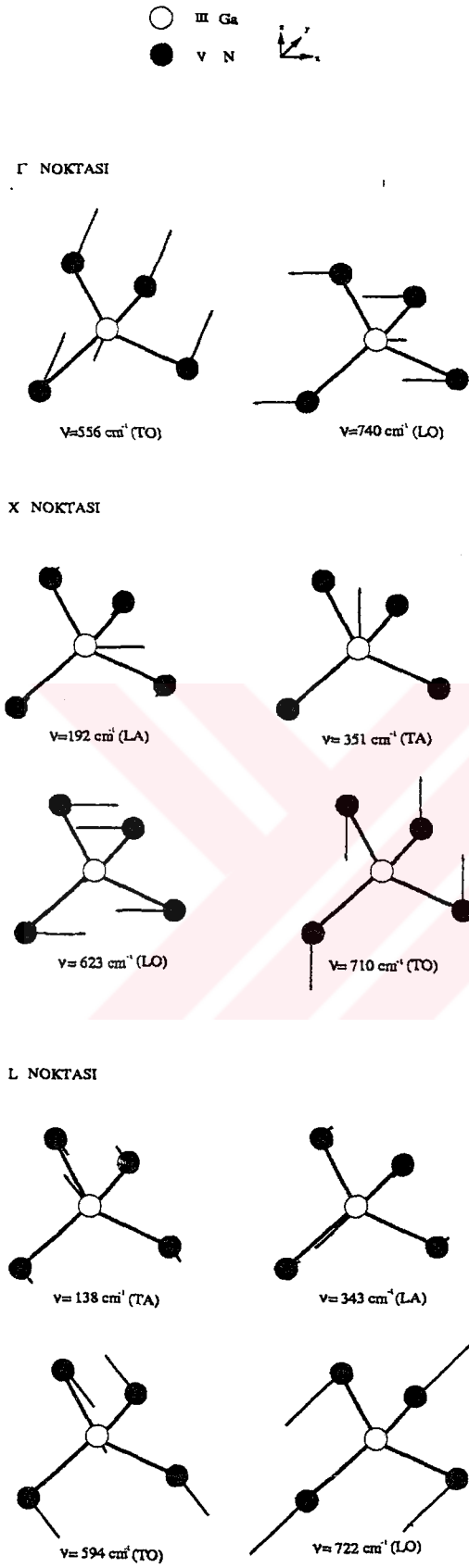
Şekil 5.9 BN yarıiletkenine ait durum yoğunluğu eğrisi

BN'e ait durum yoğunluğu eğrisinde optik bölgede iki pik görülmektedir bunlarda birincisi, Şekil 5.5'teki fonon dağılımı eğrisinde $(\Gamma-X)$ yönünde boyuna optik fononların üst üste binmesi sonucu oluşmuştur. İkinci ve daha keskin olan pik ise $(X-\Gamma)$ ve $(\Gamma-L)$ yönlerinde 1000 cm^{-1} civarında enine optik fononların üst üste binmesi sonucu oluşmuştur.

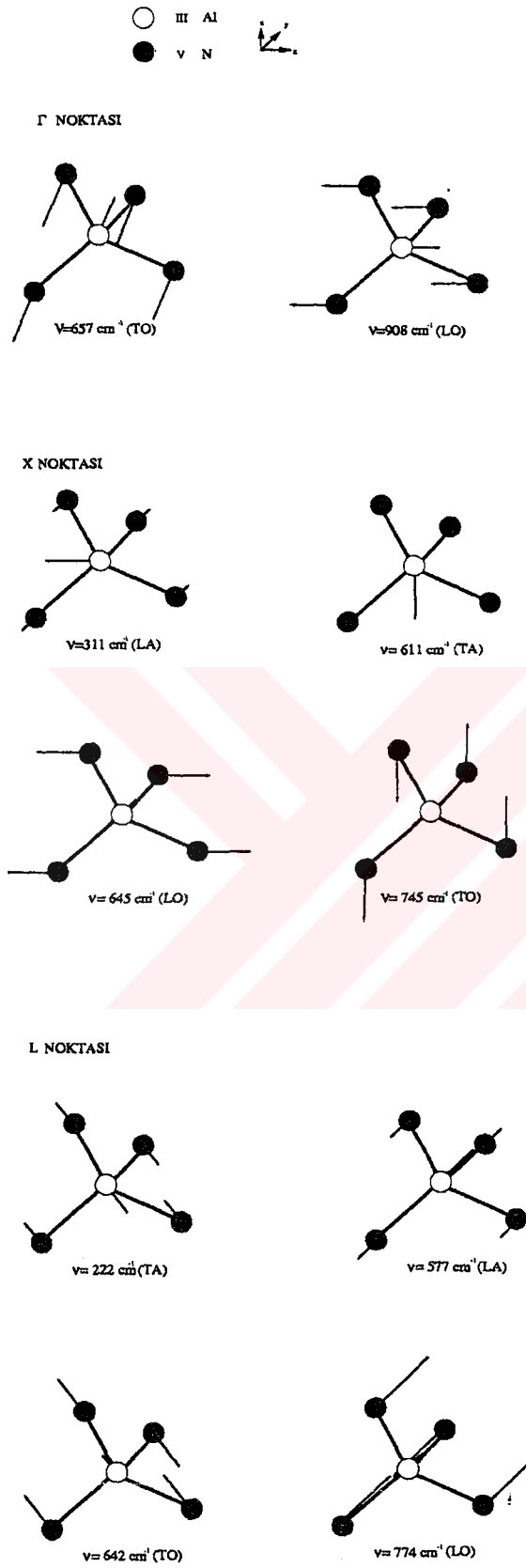
5.4 Hesaplanan Fonon Frekanslarının Titreşim Vektörleri



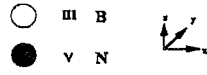
Şekil 5.10 InN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri



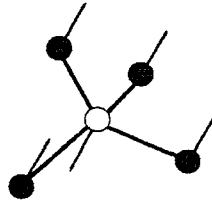
Şekil 5.11 GaN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri



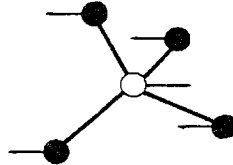
Şekil 5.12 AlN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri



Γ NOKTASI

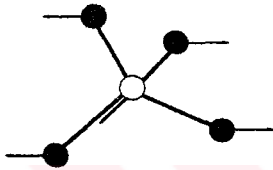


$\nu=1049 \text{ cm}^{-1}$ (TO)

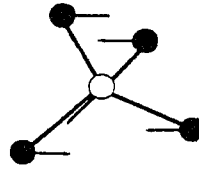


$\nu=1306 \text{ cm}^{-1}$ (LO)

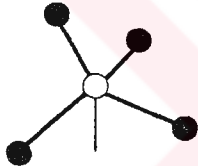
X NOKTASI



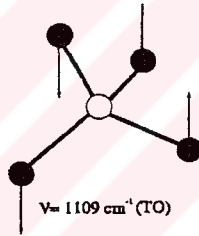
$\nu=686 \text{ cm}^{-1}$ (LA)



$\nu=917 \text{ cm}^{-1}$ (LA)

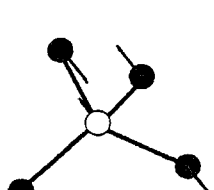


$\nu=1041 \text{ cm}^{-1}$ (TO)

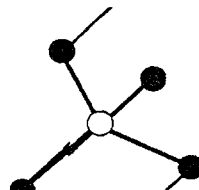


$\nu=1109 \text{ cm}^{-1}$ (TO)

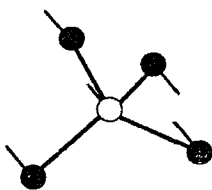
L NOKTASI



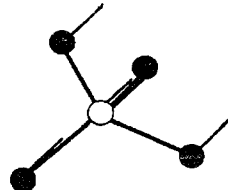
$\nu=445 \text{ cm}^{-1}$ (TA)



$\nu=974 \text{ cm}^{-1}$ (LA)



$\nu=978 \text{ cm}^{-1}$ (TO)



$\nu=1187 \text{ cm}^{-1}$ (LO)

Şekil 5.13 BN yarıiletkenine ait titreşim vektörleri

BÖLÜM 6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Şekil (5.6, 5.7, 5.8, 5.9)'de III-N tipi yarıiletkenler (InN, GaN, AlN, BN) için hesaplanan durum yoğunlukları eğrileri görülmektedir. Sırasıyla InN ve GaN yarıiletkenlerine ait durum yoğunlukları eğrilerinde Şekil (5.6) ve Şekil (5.7)'de görüldüğü gibi akustik titreşimler için iki adet büyük pik vardır. Bu piklerin, incelenenler içinde yalnızca bu iki yarıiletkende gözlenmesinin sebebi In ve Ga atomlarının N atomuna göre kütlelerinin daha büyük olmasındandır. Bu oranlar (m_{In} / m_N) ve (m_{Ga} / m_N) için sırasıyla 8.2 ve 4.98'dir.

AlN için hesaplanan durum yoğunluk eğrisinde boyuna optik (TO) modda keskin bir pik gözlenmektedir. Bunun sebebi ise farklı yönlerde ([100], [110] ve [111]) yapılan hesaplamalarda elde edilen spektrum değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Aynı durum InN ve GaN için (Γ -X) ve (Γ -L) yönlerindeki boyuna optik (LO) modlar için gözlenmektedir.

Fonon dispersiyon ve durum yoğunluğu eğrileri belirlenen yarıiletkenlerin üzerinde farklı metotlarla da çalışmalar yapılması ve sonuçların net olarak belirlenmesi, bu tip yarıiletkenlerin teknolojik kullanımı açısından önemlidir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda kullanılan model yarı kuantum mekaniksel bir modeldir. Bu modelde yapılan hesaplamalar deneysel sonuçlarla kıyaslanabileceği gibi, diğer bir kıyaslama yolu da teorik sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapmaktır. Bu da örgü dinamiği hesaplamaları için geliştirilen, kuantum mekaniksel olan ve hiçbir deneysel parametreye ihtiyaç duymayan *ab initio* model ile yapılan hesaplamalarla sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- 1- Born M. and Karman V., Phys. Z, Vol. 13. 297. 1912.
- 2- Smith H. M. J., Phil. Trans. R. Soc. A, Vol. 24. 105. 1948.
- 3- Herman F., J. Phys. Chem. Solids, Vol. 8, 405. 1959.
- 4- Cochran W., Proc. R. Soc. A., Vol. 253, 260. 1959.
- 5- Waugh J. L. T. and Dolling G., Phys. Rev. B, Vol. 132, 2410. 1963.
- 6- Borchers P. H. and Kunc K., J. Phys. C. Vol. 11, 4145. 1978.
- 7- Musgrave M. J. P. And Pople J. A., Proc. Roy. Soc. A, 1962.
- 8- Keating P. N., "Effect of Invariance Requirements on the Elastic Strain Energy of Crystals with Application to the Diamond Structure" Phys. Rev., Vol. 145, 637. 1966.
- 9- Martin R. Phys., "Elastic Properties of ZnS Structure Semiconductors" Rev. B Vol.1. 4005. 1970.
- 10-Tubino R., Piseri L. and Zerbi G., J. Chem. Phys., Vol. 56. 1022. 1972.
- 11-Banarjee R. and Varshni Y. P., J. Phys. (1969)47, 451
- 12-Kunc K., Balkanski M. and Nusimovici M. A., Phys. Stat. Sol. (b).Vol. 72, 229. 1975.
- 13-Phillips J., "Covalent Bond in Crystals. I. Elements of a Structural Theory" Phys. Rev. Vol.166. 832. 1968.
- 14-Martin R., "Lattice Vibrations in Silicon: Microscopic Dielectric Model" Phys. Rev. Lett. Vol.21. 536. 1968.
- 15-Martin R., "Dielectric Screening Model for Lattice Vibrations of Diamond-Structure Crystals" Phys. Rev., Vol. 186. 871. 1969.
- 16-Weber W., "New Bond-Charge Model for the Lattice Dynamics of Diamond-Type Semiconductors" Phys. Rev. Lett., Vol. 33. 371. 1974.
- 17-Weber W., "Adiabatic bond charge model for the phonons in diamond, Si, Ge, and α -Sn" Phys. Rev. B, Vol. 15. 4789. 1977.
- 18- Rustagi K. C. and Weber W., Solid State Commun., Vol. 18. 673. 1979.

- 19- Rajput B. D. and Brovne D. A., "Lattice dynamics of II-VI materials using the adiabatic bond-charge model" *Phys. Rev. B*, Vol. 53. 9052. 1996.
- 20- Yip S. K. and Chang Y. C., *Phys. Rev. B*, Vol. 30. 7037. 1984.
- 21- Torres V. J. B. and Stoneham A. M., "Handbook of Interatomic Potentials", Harwell Labrotuary, Theoretical Physics Division, 1985.
- 22- Dolling G., "Inelastic Scattering of neutrons in Solids and Liquids", IAEA, Vienna, Vol. 1. 37. 1963.
- 23- Nillson G. and Nelin G., "Study of the Homology between Silicon and Germanium by Thermal-Neutron Spectrometry " *Phys. Rev. B*, Vol. 6. 3777. 1972.
- 24- Nillson G. and Nelin G., "Phonon Dispersion Relations in Ge at 80 °K" *Phys. Rev. B*, Vol. 3. 364. 1971.
- 25- Price D. L., Rowe J. M. and Nicklow R. M., "Lattice Dynamics of Grey Tin and Indium Antimonide" *Phys. Rev. B*, Vol. 3. 1268. 1971.
- 26- Dolling G. and Waung J. L. T., "Lattice Dynamics" (Pergamon, London, 1965)
- 27- Yarnell L. L., Warren J. L., Wenzel R. G. and Dean P. J., "Neutron Inelastic Scattering", IAEA, Vienna, Vol. 1. 301. 1968.
- 28- Borchers P. H., Alfrey G. F., Saunderson D. H. and Woods A. D. B., *J. Phys. C*. Vol. 8. 2022. 1975.
- 29- Grimsditch M. H. and Ramdas A. K., "Brillouin scattering in diamond" *Phys Rev. B* Vol. 11. 3139. 1975.
- 30- Solin S. A. and Ramdas A. K., "Raman Spectrum of Diamond" *Phys. Rev. B* Vol. 1. 1687. 1970.
- 31- Carles R., Saint-Cricq N., Renucci J. B., Renucci M. A. and Zwick A., "Second-order Raman scattering in InAs" *Phys. Rev. B* Vol. 22. 4804. 1980.
- 32- Kunc K. and Dacosta P.G., "Real-space convergence of the force series in the lattice dynamics of germanium" *Phys. Rev. B* Vol. 32. 2010. 1985.
- 33- Srivastava G. P. and Kunc K., *J. Phys. C*. Vol. 21. 5087. 1988.
- 34- Maradudin A. A., Montroll E. W., Weiss G. H. and Ipatova I. P., "Theory of Lattice Dynamics in the Harmonic Approximation". 2. ed. Academic. New York. 1971.
- 35- Srivastava G. P., "The Physics Of Phonons". Adam Hilger. Bristol. 1990.

- 36- Strauch S., Dorner B. and Karch K., Proc. 3. Int Conf. On Phonon Physics
World Scientific. Vol. 382. Singapore. 1990.
- 37- Giannozzi P., De Gironcoli S., Pavone P. and Baroni S., "Ab initio calculation
of phonon dispersions in semiconductors" Phys. Rev. B, Vol. 43. 7231. 1991.



EK A. III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN HESAPLANAN FONON FREKANSLARI

InN

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .9441 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .3298 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .9434 | .0000 | -.0366 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .3295 | .0000 | -.0128 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0366 | .0000 | .9434 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0128 | .0000 | .3295 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 462.07816638 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2490 | .0000 | -.2162 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .7129 | .0000 | .6189 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 462.07816638 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2162 | .0000 | .2490 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .6189 | .0000 | -.7129 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 598.89032304 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .3298 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.9441 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .100 | .100 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 22.25285747 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0001 | -.6693 | -.0001 | .6693 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.2282 | .0000 | .2282 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 31.72429790 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0018 | .0000 | .0018 | .9474 | .0000 |
| .0000 | -.0188 | .0000 | -.0188 | .3190 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 52.34284860 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.6692 | .0000 | -.6692 | .0034 | .0000 |
| .0000 | -.2273 | .0000 | -.2273 | -.0293 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 463.64054297 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0001 | .2282 | -.0001 | -.2282 | .0000 | .0000 |
| -.0002 | -.6693 | .0002 | .6693 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 464.29162431 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0194 | .0000 | -.0194 | -.3191 | .0000 |
| .0000 | -.0063 | .0000 | -.0063 | .9473 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 597.59072602 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.2275 | .0000 | -.2275 | .0248 | .0000 |
| .0000 | .6693 | .0000 | .6693 | .0079 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.200 .200 .000

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 42.89217891 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .6739 | .0000 | -.6739 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .2141 | .0000 | -.2141 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 62.16100899 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0071 | .0000 | .0071 | .9560 | .0000 |
| .0000 | -.0350 | .0000 | -.0350 | .2889 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 100.40411257 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .6741 | .0000 | .6741 | -.0109 | .0000 |
| .0000 | .2099 | .0000 | .2099 | .0537 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 468.13003472 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.2141 | .0000 | .2141 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .6739 | .0000 | -.6739 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 470.89052776 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0362 | .0000 | -.0362 | -.2893 | .0000 |
| .0000 | -.0135 | .0000 | -.0135 | .9557 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 593.70071462 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.2102 | .0000 | -.2102 | .0472 | .0000 |
| .0000 | .6742 | .0000 | .6742 | .0175 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.300 .300 .000

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 60.91285927 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .6800 | .0000 | -.6800 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .1939 | .0000 | -.1939 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 90.74286840 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0194 | .0000 | .0194 | .9668 | .0000 |
| .0000 | -.0463 | .0000 | -.0463 | .2456 | .0000 |

FREQUENCY 140.26997124
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6815 .0000 .6815 -.0275 .0000
 .0000 .1812 .0000 .1812 .0689 .0000

FREQUENCY 474.92531841
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.1939 .0000 .1939 .0000 .0000
 .0001 .6800 -.0001 -.6800 .0000 .0000

FREQUENCY 481.57549588
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0477 .0000 -.0477 -.2458 .0000
 .0000 -.0231 .0000 -.0231 .9664 .0000

FREQUENCY 587.28119162
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.1815 .0000 -.1815 .0646 .0000
 .0000 .6815 .0000 .6815 .0311 .0000

NEW WAVE VECTOR
 .400 .400 .000

FREQUENCY 76.14692999
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6862 .0000 -.6862 .0000 .0000
 .0000 .1708 .0000 -.1708 .0000 .0000

FREQUENCY 117.65993258
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0435 .0000 .0435 .9759 .0000
 .0000 -.0511 .0000 -.0511 .1966 .0000

FREQUENCY 168.74020173
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6893 .0000 .6893 -.0611 .0000
 .0000 .1427 .0000 .1427 .0724 .0000

FREQUENCY 482.99946990
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.1708 .0000 .1708 .0000 .0000
 .0000 .6862 .0000 -.6862 .0000 .0000

FREQUENCY 495.52105977
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0522 .0000 -.0522 -.1960 .0000
 .0000 -.0378 .0000 -.0378 .9764 .0000

FREQUENCY 578.50123310
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.1423 .0000 -.1423 .0743 .0000
 .0000 .6896 .0000 .6896 .0531 .0000

NEW WAVE VECTOR
 .500 .500 .000

FREQUENCY 88.99347689
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6914 .0000 -.6914 .0000 .0000
 .0000 .1483 .0000 -.1483 .0000 .0000

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 143.10171425 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0940 | .0000 | .0940 | .9774 | .0000 |
| .0000 | -.0488 | .0000 | -.0488 | .1495 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 183.82405903 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .6925 | .0000 | .6925 | -.1331 | .0000 |
| .0000 | .0977 | .0000 | .0977 | .0631 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 491.12771669 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.1483 | .0000 | .1483 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .6914 | .0000 | -.6914 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 511.35576938 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.0495 | .0000 | -.0495 | -.1473 | .0000 |
| .0000 | -.0662 | .0000 | -.0662 | .9822 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 567.65073517 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.0954 | .0000 | -.0954 | .0732 | .0000 |
| .0000 | .6955 | .0000 | .6955 | .0951 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.600 .600 .000

| | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 99.89890633 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .6954 | .0000 | -.6954 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .1283 | .0000 | -.1283 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 165.57643621 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .2649 | .0000 | .2649 | .9188 | .0000 |
| .0000 | -.0370 | .0000 | -.0370 | .1128 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 186.25406108 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .6525 | .0000 | .6525 | -.3757 | .0000 |
| .0000 | .0558 | .0000 | .0558 | .0321 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 498.23308292 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.1283 | .0000 | .1283 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .6954 | .0000 | -.6954 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 527.17020992 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0420 | .0000 | .0420 | .1068 | .0000 |
| .0000 | .1476 | .0000 | .1476 | -.9703 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 555.32969654 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0477 | .0000 | .0477 | -.0570 | .0000 |
| .0000 | -.6883 | .0000 | -.6883 | -.2116 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .700 | .700 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 108.97925247 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.6982 | .0000 | .6982 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.1122 | .0000 | .1122 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 168.40250049 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .6678 | .0000 | .6678 | .3191 | .0000 |
| .0000 | -.0254 | .0000 | -.0254 | .0709 | .0000 |
| FREQUENCY | 193.36296560 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .2287 | .0000 | .2287 | -.9443 | .0000 |
| .0000 | .0365 | .0000 | .0365 | -.0320 | .0000 |
| FREQUENCY | 503.66668008 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .1122 | .0000 | -.1122 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6982 | .0000 | .6982 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 535.71845301 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0330 | .0000 | -.0330 | -.0800 | .0000 |
| .0000 | -.5787 | .0000 | -.5787 | .5672 | .0000 |
| FREQUENCY | 547.67926529 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0260 | .0000 | -.0260 | -.0091 | .0000 |
| .0000 | .4040 | .0000 | .4040 | .8199 | .0000 |
| NEW WAVE VECTOR | | | | | |
| .800 | .800 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 115.97256126 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.6999 | .0000 | .6999 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.1005 | .0000 | .1005 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 150.09668330 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.7005 | .0000 | -.7005 | -.1029 | .0000 |
| .0000 | .0562 | .0000 | .0562 | -.0411 | .0000 |
| FREQUENCY | 209.48518280 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0753 | .0000 | .0753 | -.9937 | .0000 |
| .0000 | .0213 | .0000 | .0213 | -.0197 | .0000 |
| FREQUENCY | 507.27454396 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .1005 | .0000 | -.1005 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6999 | .0000 | .6999 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 524.66034516 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0570 | .0000 | -.0570 | -.0412 | .0000 |
| .0000 | -.6974 | .0000 | -.6974 | .1383 | .0000 |

FREQUENCY 556.93216395
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0196 .0000 -.0196 -.0183 .0000
 .0000 .1002 .0000 .1002 .9893 .0000

NEW WAVE VECTOR

.900 .900 .000
 FREQUENCY 120.43089626
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.7009 .0000 .7009 .0000 .0000
 .0000 -.0934 .0000 .0934 .0000 .0000

FREQUENCY 130.59921416
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .7018 .0000 .7018 .0367 .0000
 .0000 -.0816 .0000 -.0816 .0198 .0000

FREQUENCY 220.88194412
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0272 .0000 -.0272 .9992 .0000
 .0000 -.0092 .0000 -.0092 .0053 .0000

FREQUENCY 509.24885890
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0934 .0000 -.0934 .0000 .0000
 .0000 -.7009 .0000 .7009 .0000 .0000

FREQUENCY 514.03550085
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0818 .0000 -.0818 -.0176 .0000
 .0000 -.7014 .0000 -.7014 .0483 .0000

FREQUENCY 564.62840708
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0098 .0000 -.0098 -.0051 .0000
 .0000 .0356 .0000 .0356 .9986 .0000

NEW WAVE VECTOR

1.000 1.000 .000
 FREQUENCY 121.96691058
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0115 -.9916 .0000 -.0001 .0000 .0000
 .0000 .0000 -.0015 .1287 .0000 .0000

FREQUENCY 121.96691059
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0001 .0082 -.9917 .0000 .0000
 -.0011 .1287 .0000 .0000 .0000 .0000

FREQUENCY 224.94456516
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .0000 .0000 1.0000 .0000
 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

FREQUENCY 509.86580507
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.0132 -.1280 .0000 .0000
 -.1019 -.9864 .0000 .0000 .0000 .0000

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 509.86580519 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| -.0098 | -.1283 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | -.0752 | -.9888 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 567.36736557 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1.0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| .900 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 120.95194777 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .2107 | -.7261 | -.1097 | .6311 | |
| .0000 | .0000 | .0902 | -.0171 | -.0981 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 120.95194777 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .2251 | .5997 | .3420 | .6743 | |
| .0000 | .0000 | .0963 | -.0182 | .0918 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 221.89829998 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .9660 | -.2509 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0609 | -.0158 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 508.65223737 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.0336 | -.0783 | -.0260 | -.1005 | |
| .0000 | .0000 | .7821 | .0009 | .6085 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 508.65223737 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .0261 | -.1005 | -.0337 | .0782 | |
| .0000 | .0000 | -.6085 | -.0007 | .7821 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 568.29667556 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0063 | -.0626 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.0994 | .9931 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| .800 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 117.83676376 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .4035 | -.5683 | -.3876 | .5844 | |
| .0000 | .0000 | .1078 | -.0006 | -.1044 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 117.83676376 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .3907 | .5823 | .4065 | .5660 | |
| .0000 | .0000 | .1044 | -.0006 | .1078 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 212.91928696 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .9885 | -.0894 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .1216 | -.0110 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 505.13681421 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .0595 | .0802 | .0717 | .0861 | |

.0000 .0000 -.6895 .0887 -.7030 .0000

FREQUENCY 505.13681421

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| .0000 | .0000 | -.0601 | .0946 | .0487 | -.0871 |
| .0000 | .0000 | .6972 | -.0897 | -.6952 | .0000 |

FREQUENCY 570.93601158

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| .0379 | -.1160 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.3083 | .9434 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

.700 .000 .000

FREQUENCY 112.42629665

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| .0000 | .0000 | .5262 | -.4793 | -.4824 | .4801 |
| .0000 | .0000 | .1255 | -.0051 | -.1197 | .0000 |

FREQUENCY 112.42629665

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| .0000 | .0000 | .5015 | .4602 | .5452 | .4576 |
| .0000 | .0000 | .1196 | -.0049 | .1256 | .0000 |

FREQUENCY 198.44484202

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| .9811 | -.0835 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .1739 | -.0148 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

FREQUENCY 499.68426147

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| .0000 | .0000 | .0901 | .0875 | .0869 | .0822 |
| .0000 | .0000 | -.6926 | -.0344 | -.6993 | .0000 |

FREQUENCY 499.68426147

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| .0000 | .0000 | -.0909 | .0778 | .0944 | -.0829 |
| .0000 | .0000 | .6984 | .0347 | -.6935 | .0000 |

FREQUENCY 574.88741914

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| .1587 | -.0728 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.8950 | .4104 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

.600 .000 .000

FREQUENCY 104.44874769

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| .0000 | .0000 | .6022 | -.3600 | -.5685 | .3793 |
| .0000 | .0000 | .1466 | -.0003 | -.1386 | .0000 |

FREQUENCY 104.44874769

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| .0000 | .0000 | -.5694 | -.3780 | -.6030 | -.3586 |
| .0000 | .0000 | -.1386 | .0003 | -.1466 | .0000 |

FREQUENCY 179.09212890

| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -.9712 | .0933 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.2180 | .0210 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 492.86363468 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.1328 | -.0714 | -.1048 | -.0836 | |
| .0000 | .0000 | .7616 | .0223 | .6154 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 492.86363468 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.1072 | .0805 | .1348 | -.0675 | |
| .0000 | .0000 | .6151 | .0180 | -.7620 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 579.61641928 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .2126 | -.0529 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9469 | .2355 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

.500 .000 .000

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 93.63522190 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6072 | -.2851 | -.6492 | .2730 | |
| .0000 | .0000 | .1590 | .0015 | -.1694 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 93.63522190 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.6467 | -.2790 | -.6046 | -.2907 | |
| .0000 | .0000 | -.1694 | -.0016 | -.1590 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 155.56025399 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.8768 | .4075 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.2314 | .1075 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 485.38633492 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .1408 | .0735 | .1572 | .0633 | |
| .0000 | .0000 | -.6464 | -.0108 | -.7267 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 485.38633492 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.1583 | .0607 | .1420 | -.0712 | |
| .0000 | .0000 | .7266 | .0122 | -.6465 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 584.56904521 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .2510 | -.0458 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9512 | .1735 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

.400 .000 .000

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 79.82322638 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6273 | -.2140 | -.6718 | .2012 | |
| .0000 | .0000 | .1792 | .0004 | -.1918 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 79.82322638 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.6714 | -.2026 | -.6268 | -.2154 | |
| .0000 | .0000 | -.1918 | -.0004 | -.1792 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 128.56685299 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.9563 | -.0718 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | -.2825 | -.0212 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 478.01965283 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.1784 | -.0540 | -.1758 | -.0572 |
| | .0000 | .0000 | .6886 | -.0082 | .6759 | .0000 |
| FREQUENCY | 478.01965283 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.1751 | .0593 | .1777 | -.0562 |
| | .0000 | .0000 | .6758 | -.0081 | -.6887 | .0000 |
| FREQUENCY | 589.25199873 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2797 | -.0452 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.9468 | .1529 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .300 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 63.06330751 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6695 | -.1410 | -.6527 | .1481 |
| | .0000 | .0000 | .2075 | .0010 | -.2021 | .0000 |
| FREQUENCY | 63.06330751 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.6520 | -.1513 | -.6688 | -.1442 |
| | .0000 | .0000 | -.2021 | -.0010 | -.2075 | .0000 |
| FREQUENCY | 98.82128165 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.9494 | -.0785 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.3032 | -.0251 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 471.48988428 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.2126 | -.0375 | -.1873 | -.0470 |
| | .0000 | .0000 | .7194 | -.0129 | .6312 | .0000 |
| FREQUENCY | 471.48988428 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.1865 | .0504 | .2118 | -.0413 |
| | .0000 | .0000 | .6311 | -.0113 | -.7195 | .0000 |
| FREQUENCY | 593.26974359 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2995 | -.0536 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.9377 | .1677 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .200 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 43.69667234 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.7646 | -.1930 | .5197 | -.1064 |
| | .0000 | .0000 | -.2528 | -.0860 | .1598 | .0000 |
| FREQUENCY | 43.69667234 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .4576 | .2682 | .7860 | .0637 |
| | .0000 | .0000 | .1513 | .0515 | .2670 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 67.02019903 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.9479 | -.0083 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.3186 | -.0028 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 466.39931334 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2273 | -.0221 | -.2090 | -.0316 | |
| .0000 | .0000 | .7008 | -.0212 | .6415 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 466.39931334 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2080 | .0380 | .2265 | -.0289 | |
| .0000 | .0000 | .6412 | -.0194 | -.7012 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 596.33122096 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3181 | -.0180 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9464 | .0536 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .100 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 22.37347132 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4299 | -.0219 | -.8416 | -.0289 | |
| .0000 | .0000 | -.1481 | .0119 | -.2891 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 22.37347132 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.8365 | .0963 | .4268 | -.0563 | |
| .0000 | .0000 | -.2881 | .0232 | .1485 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 33.85167087 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.9450 | -.0030 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.3270 | -.0010 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 463.17868265 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .2120 | .0155 | .2455 | .0143 | |
| .0000 | .0000 | -.6181 | .0030 | -.7157 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 463.17868265 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2454 | .0154 | .2119 | -.0165 | |
| .0000 | .0000 | .7157 | -.0035 | -.6182 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 598.24161492 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3267 | -.0145 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9441 | .0419 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .000 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .9441 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .3298 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | .00000000 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .9434 | .0000 | -.0366 | .0000 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .3295 | .0000 | -.0128 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0366 | .0000 | .9434 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0128 | .0000 | .3295 | .0000 |
| FREQUENCY | 462.07816638 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2490 | .0000 | -.2162 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .7129 | .0000 | .6189 | .0000 |
| FREQUENCY | 462.07816638 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2162 | .0000 | .2490 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .6189 | .0000 | -.7129 | .0000 |
| FREQUENCY | 598.89032304 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .3298 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.9441 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .050 | .050 | .050 | | | |
| FREQUENCY | 15.81736417 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .7712 | -.0261 | -.3856 | .0131 | -.3856 | .0131 |
| .2668 | .0000 | -.1334 | .0000 | -.1334 | .0000 |
| FREQUENCY | 15.81736445 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .6679 | -.0226 | -.6679 | .0226 |
| .0000 | .0000 | .2311 | .0000 | -.2311 | .0000 |
| FREQUENCY | 33.38522954 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.5447 | -.0325 | -.5447 | -.0325 | -.5447 | -.0325 |
| -.1887 | .0000 | -.1887 | .0000 | -.1887 | .0000 |
| FREQUENCY | 462.74554993 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .2667 | -.0090 | -.1333 | .0045 | -.1333 | .0045 |
| -.7717 | .0000 | .3858 | .0000 | .3858 | .0000 |
| FREQUENCY | 462.74555002 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .2309 | -.0078 | -.2309 | .0078 |
| .0000 | .0000 | -.6683 | .0000 | .6683 | .0000 |
| FREQUENCY | 598.40584147 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.1884 | -.0112 | -.1884 | -.0112 | -.1884 | -.0112 |
| .5456 | .0000 | .5456 | .0000 | .5456 | .0000 |
| .100 | .100 | .100 | | | |
| FREQUENCY | 30.89117310 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .7721 | -.0552 | -.3860 | .0276 | -.3860 | .0276 |
| .2598 | .0000 | -.1299 | .0000 | -.1299 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 30.89117324 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6687 | -.0478 | -.6687 | .0478 |
| | .0000 | .0000 | .2250 | .0000 | -.2250 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 66.09429082 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5435 | -.0647 | -.5435 | -.0647 | -.5435 | -.0647 |
| | -.1837 | .0000 | -.1837 | .0000 | -.1837 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 464.69936175 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2591 | -.0185 | -.1296 | .0093 | -.1296 | .0093 |
| | -.7741 | .0000 | .3870 | .0000 | .3870 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 464.69936184 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2244 | -.0160 | -.2244 | .0160 |
| | .0000 | .0000 | -.6704 | .0000 | .6704 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 596.98287550 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1824 | -.0217 | -.1824 | -.0217 | -.1824 | -.0217 |
| | .5474 | .0000 | .5474 | .0000 | .5474 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .150 | .150 | .150 | | | | |
| FREQUENCY | 44.57865427 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .7724 | -.0899 | -.3862 | .0449 | -.3862 | .0449 |
| | .2490 | .0000 | -.1245 | .0000 | -.1245 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 44.57865436 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6689 | -.0778 | -.6689 | .0778 |
| | .0000 | .0000 | .2156 | .0000 | -.2156 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 97.44667818 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5417 | -.0960 | -.5417 | -.0960 | -.5417 | -.0960 |
| | -.1751 | .0000 | -.1751 | .0000 | -.1751 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 467.79059797 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2473 | -.0288 | -.1237 | .0144 | -.1237 | .0144 |
| | -.7776 | .0000 | .3888 | .0000 | .3888 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 467.79059806 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2142 | -.0249 | -.2142 | .0249 |
| | .0000 | .0000 | -.6734 | .0000 | .6734 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 594.71406070 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1724 | -.0306 | -.1724 | -.0306 | -.1724 | -.0306 |
| | .5502 | .0000 | .5502 | .0000 | .5502 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .200 | .200 | .200 | | | | |
| FREQUENCY | 56.41598281 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7704 | .1327 | .3852 | -.0664 | .3852 | -.0664 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | -.2356 | .0000 | .1178 | .0000 | .1178 | .0000 |
| FREQUENCY | 56.41598288 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6672 | -.1149 | -.6672 | .1149 |
| | .0000 | .0000 | .2040 | .0000 | -.2040 | .0000 |
| FREQUENCY | 126.75362040 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5395 | -.1258 | -.5395 | -.1258 | -.5395 | -.1258 |
| | -.1627 | .0000 | -.1627 | .0000 | -.1627 | .0000 |
| FREQUENCY | 471.76327542 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2322 | -.0400 | -.1161 | .0200 | -.1161 | .0200 |
| | -.7818 | .0000 | .3909 | .0000 | .3909 | .0000 |
| FREQUENCY | 471.76327551 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2011 | -.0346 | -.2011 | .0346 |
| | .0000 | .0000 | -.6770 | .0000 | .6770 | .0000 |
| FREQUENCY | 591.75743709 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1585 | -.0370 | -.1585 | -.0370 | -.1585 | -.0370 |
| | .5539 | .0000 | .5539 | .0000 | .5539 | .0000 |
| | .250 | .250 | .250 | | | |
| FREQUENCY | 66.15600434 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7638 | .1855 | .3819 | -.0928 | .3819 | -.0928 |
| | -.2211 | .0000 | .1105 | .0000 | .1105 | .0000 |
| FREQUENCY | 66.15600439 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6615 | -.1607 | -.6615 | .1607 |
| | .0000 | .0000 | .1915 | .0000 | -.1915 | .0000 |
| FREQUENCY | 153.31537297 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5372 | -.1528 | -.5372 | -.1528 | -.5372 | -.1528 |
| | -.1463 | .0000 | -.1463 | .0000 | -.1463 | .0000 |
| FREQUENCY | 476.25847281 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2148 | -.0522 | -.1074 | .0261 | -.1074 | .0261 |
| | -.7860 | .0000 | .3930 | .0000 | .3930 | .0000 |
| FREQUENCY | 476.25847290 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .1860 | -.0452 | -.1860 | .0452 |
| | .0000 | .0000 | -.6807 | .0000 | .6807 | .0000 |
| FREQUENCY | 588.34012878 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1407 | -.0400 | -.1407 | -.0400 | -.1407 | -.0400 |
| | .5585 | .0000 | .5585 | .0000 | .5585 | .0000 |

.300 .300 .300
 FREQUENCY 73.75882989
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .7496 -.2490 -.3748 .1245 -.3748 .1245
 .2069 .0000 -.1034 .0000 -.1034 .0000

FREQUENCY 73.75882994
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .6491 -.2157 -.6491 .2157
 .0000 .0000 .1792 .0000 -.1792 .0000

FREQUENCY 176.42345256
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.5359 -.1741 -.5359 -.1741 -.5359 -.1741
 -.1256 .0000 -.1256 .0000 -.1256 .0000

FREQUENCY 480.83908861
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .1963 -.0652 -.0982 .0326 -.0982 .0326
 -.7899 .0000 .3949 .0000 .3949 .0000

FREQUENCY 480.83908870
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .1700 -.0565 -.1700 .0565
 .0000 .0000 -.6840 .0000 .6840 .0000

FREQUENCY 584.75879161
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.1195 -.0388 -.1195 -.0388 -.1195 -.0388
 .5635 .0000 .5635 .0000 .5635 .0000

.350 .350 .350
 FREQUENCY 79.34192344
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.7245 .3225 .3622 -.1612 .3622 -.1612
 -.1944 .0000 .0972 .0000 .0972 .0000

FREQUENCY 79.34192348
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .6274 -.2793 -.6274 .2793
 .0000 .0000 .1683 .0000 -.1683 .0000

FREQUENCY 195.37417349
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.5379 -.1839 -.5379 -.1839 -.5379 -.1839
 -.1008 .0000 -.1008 .0000 -.1008 .0000

FREQUENCY 485.03579285
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .1776 -.0791 -.0888 .0395 -.0888 .0395
 -.7930 .0000 .3965 .0000 .3965 .0000

FREQUENCY 485.03579295
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .1538 -.0685 -.1538 .0685
 .0000 .0000 -.6868 .0000 .6868 .0000

FREQUENCY 581.37002729
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.0954 -.0326 -.0954 -.0326 -.0954 -.0326

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .5685 | .0000 | .5685 | .0000 | .5685 | .0000 |
| .400 | .400 | .400 | | | |
| FREQUENCY | 83.10687232 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.6857 | .4030 | .3429 | -.2015 | .3428 | -.2015 |
| -.1847 | .0000 | .0923 | .0000 | .0923 | .0000 |
| FREQUENCY | 83.10687236 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .5938 | -.3490 | -.5938 | .3490 |
| .0000 | .0000 | .1599 | .0000 | -.1599 | .0000 |
| FREQUENCY | 209.50230452 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.5484 | -.1653 | -.5484 | -.1653 | -.5484 | -.1653 |
| -.0724 | .0000 | -.0724 | .0000 | -.0724 | .0000 |
| FREQUENCY | 488.40473140 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .1592 | -.0936 | -.0796 | .0468 | -.0796 | .0468 |
| -.7953 | .0000 | .3977 | .0000 | .3977 | .0000 |
| FREQUENCY | 488.40473150 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .1379 | -.0810 | -.1379 | .0810 |
| .0000 | .0000 | -.6888 | .0000 | .6888 | .0000 |
| FREQUENCY | 578.56154892 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.0694 | -.0209 | -.0694 | -.0209 | -.0694 | -.0209 |
| .5728 | .0000 | .5728 | .0000 | .5728 | .0000 |
| .450 | .450 | .450 | | | |
| FREQUENCY | 85.26286037 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .6318 | -.4855 | -.3159 | .2427 | -.3159 | .2427 |
| .1785 | .0000 | -.0893 | .0000 | -.0893 | .0000 |
| FREQUENCY | 85.26286041 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .5471 | -.4204 | -.5471 | .4204 |
| .0000 | .0000 | .1546 | .0000 | -.1546 | .0000 |
| FREQUENCY | 218.24085142 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.5735 | -.0506 | -.5735 | -.0506 | -.5735 | -.0506 |
| -.0431 | .0000 | -.0431 | .0000 | -.0431 | .0000 |
| FREQUENCY | 490.58383750 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .1416 | -.1088 | -.0708 | .0544 | -.0708 | .0544 |
| -.7967 | .0000 | .3984 | .0000 | .3984 | .0000 |
| FREQUENCY | 490.58383759 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .1226 | -.0942 | -.1226 | .0942 |
| .0000 | .0000 | -.6900 | .0000 | .6900 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 576.69742663 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.0430 | -.0038 | -.0430 | -.0038 | -.0430 | -.0038 |
| .5757 | .0000 | .5757 | .0000 | .5757 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .500 | .500 | .500 | | | |
| FREQUENCY | 85.96294533 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.5637 | .5637 | .2819 | -.2819 | .2819 | -.2819 |
| -.1764 | .0000 | .0882 | .0000 | .0882 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 85.96294536 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0000 | .4882 | -.4882 | -.4882 | .4882 |
| .0000 | .0000 | .1528 | .0000 | -.1528 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 221.20029238 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.4079 | .4079 | -.4079 | .4079 | -.4079 | .4079 |
| -.0254 | .0000 | -.0254 | .0000 | -.0254 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 491.33742339 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .1248 | -.1248 | -.0624 | .0624 | -.0624 | .0624 |
| -.7972 | .0000 | .3986 | .0000 | .3986 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 491.33742348 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0000 | .1080 | -.1080 | -.1080 | .1080 |
| .0000 | .0000 | -.6904 | .0000 | .6904 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 576.04334227 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.0180 | .0180 | -.0180 | .0180 | -.0180 | .0180 |
| .5768 | .0000 | .5768 | .0000 | .5768 | .0000 |

GaN

NEW WAVE VECTOR

.000 .000 .000

FREQUENCY .00000000

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .9125 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .4091 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

FREQUENCY .00000000

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | -.2487 | .0000 | -.8780 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.1115 | .0000 | -.3936 | .0000 |

FREQUENCY .00000000

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | -.8780 | .0000 | .2487 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.3936 | .0000 | .1115 | .0000 |

FREQUENCY 556.08281064

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | -.2928 | .0000 | -.2856 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .6532 | .0000 | .6372 | .0000 |

FREQUENCY 556.08281064

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | -.2856 | .0000 | .2928 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .6372 | .0000 | -.6532 | .0000 |

FREQUENCY 740.87785255

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .4091 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.9125 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

.100 .100 .000

FREQUENCY 36.68679946

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0002 | -.6484 | -.0002 | .6484 | .0000 | .0000 |
| .0001 | -.2822 | -.0001 | .2822 | .0000 | .0000 |

FREQUENCY 50.72400579

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | -.0015 | .0000 | -.0015 | .9181 | .0000 |
| .0000 | -.0191 | .0000 | -.0191 | .3955 | .0000 |

FREQUENCY 81.60129063

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | -.6477 | .0000 | -.6477 | -.0018 | .0000 |
| .0000 | -.2829 | .0000 | -.2829 | -.0280 | .0000 |

FREQUENCY 557.87546215

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0001 | .2822 | -.0001 | -.2822 | .0000 | .0000 |
| -.0003 | -.6484 | .0003 | .6484 | .0000 | .0000 |

FREQUENCY 558.95186995

| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | -.0168 | .0000 | -.0168 | -.3958 | .0000 |
| .0000 | -.0057 | .0000 | -.0057 | .9180 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 739.93804590 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.2831 | .0000 | -.2831 | .0228 | .0000 |
| .0000 | .6477 | .0000 | .6477 | .0074 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.200 .200 .000

| | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 70.37704372 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.6567 | .0000 | .6567 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.2622 | .0000 | .2622 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 99.11264565 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.0013 | .0000 | -.0013 | .9326 | .0000 |
| .0000 | -.0355 | .0000 | -.0355 | .3574 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 156.39383940 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.6550 | .0000 | -.6550 | -.0020 | .0000 |
| .0000 | -.2638 | .0000 | -.2638 | -.0522 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 563.21642969 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .2622 | .0000 | -.2622 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6567 | .0000 | .6567 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 567.77420775 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.0315 | .0000 | -.0315 | -.3583 | .0000 |
| .0000 | -.0127 | .0000 | -.0127 | .9324 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 736.80770295 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.2645 | .0000 | -.2645 | .0428 | .0000 |
| .0000 | .6550 | .0000 | .6550 | .0165 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.300 .300 .000

| | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 99.19003857 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.0001 | .6676 | .0001 | -.6676 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .2330 | .0000 | -.2330 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 144.07066684 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0024 | .0000 | .0024 | .9512 | .0000 |
| .0000 | -.0469 | .0000 | -.0469 | .3015 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 218.21941819 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .6663 | .0000 | .6663 | -.0020 | .0000 |
| .0000 | .2317 | .0000 | .2317 | .0679 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 571.77604200 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.0001 | -.2330 | .0001 | .2330 | .0000 | .0000 |
| .0002 | .6676 | -.0002 | -.6676 | .0000 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 582.68685931 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.0412 | .0000 | -.0412 | -.3033 | .0000 |
| | .0000 | -.0221 | .0000 | -.0221 | .9506 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 730.73720511 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.2330 | .0000 | -.2330 | .0576 | .0000 |
| | .0000 | .6660 | .0000 | .6660 | .0292 | .0000 |
| | | | | | | |
| NEW WAVE VECTOR | | | | | | |
| | .400 | .400 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 122.87480285 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .6784 | .0000 | -.6784 | .0000 | .0000 |
| | .0000 | .1995 | .0000 | -.1995 | .0000 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 186.00008462 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0118 | .0000 | .0118 | .9685 | .0000 |
| | .0000 | -.0515 | .0000 | -.0515 | .2375 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 262.09780789 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .6799 | .0000 | .6799 | -.0143 | .0000 |
| | .0000 | .1873 | .0000 | .1873 | .0716 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 582.58257561 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.1995 | .0000 | .1995 | .0000 | .0000 |
| | .0001 | .6784 | -.0001 | -.6784 | .0000 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 602.87954663 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.0436 | .0000 | -.0436 | -.2401 | .0000 |
| | .0000 | -.0360 | .0000 | -.0360 | .9675 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 720.96547874 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.1889 | .0000 | -.1889 | .0647 | .0000 |
| | .0000 | .6790 | .0000 | .6790 | .0496 | .0000 |
| | | | | | | |
| NEW WAVE VECTOR | | | | | | |
| | .500 | .500 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 142.37550320 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .6872 | .0000 | -.6872 | .0000 | .0000 |
| | .0000 | .1664 | .0000 | -.1664 | .0000 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 225.74597625 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0335 | .0000 | .0335 | .9811 | .0000 |
| | .0000 | -.0484 | .0000 | -.0484 | .1749 | .0000 |
| | | | | | | |
| FREQUENCY | 284.80493860 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | -.6923 | .0000 | -.6923 | .0454 | .0000 |
| | .0000 | -.1330 | .0000 | -.1330 | -.0627 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 594.07179303 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.1664 | .0000 | .1664 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .6872 | .0000 | -.6872 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 626.37553237 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.0382 | .0000 | -.0382 | -.1780 | .0000 | |
| .0000 | -.0624 | .0000 | -.0624 | .9786 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 707.15117938 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.1346 | .0000 | -.1346 | .0614 | .0000 | |
| .0000 | .6900 | .0000 | .6900 | .0886 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

.600 .600 .000

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 158.78838198 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .6937 | .0000 | -.6937 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .1372 | .0000 | -.1372 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 262.88614821 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .1288 | .0000 | .1288 | .9745 | .0000 | |
| .0000 | -.0338 | .0000 | -.0338 | .1224 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 286.03261174 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .6906 | .0000 | .6906 | -.1818 | .0000 | |
| .0000 | .0770 | .0000 | .0770 | .0370 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 604.60475565 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.1372 | .0000 | .1372 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .6937 | .0000 | -.6937 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 650.21754616 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0267 | .0000 | .0267 | .1248 | .0000 | |
| .0000 | .1413 | .0000 | .1413 | -.9711 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 689.92541927 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0764 | .0000 | .0764 | -.0427 | .0000 | |
| .0000 | -.6877 | .0000 | -.6877 | -.2014 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

.700 .700 .000

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 172.53731939 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.6979 | .0000 | .6979 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | -.1136 | .0000 | .1136 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 265.99100413 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.6994 | .0000 | -.6994 | -.1369 | .0000 | |
| .0000 | -.0057 | .0000 | -.0057 | -.0525 | .0000 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 298.50698900 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0985 | .0000 | .0985 | -.9872 | .0000 |
| .0000 | .0353 | .0000 | .0353 | -.0588 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 613.02200401 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .1136 | .0000 | -.1136 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6979 | .0000 | .6979 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 662.57751172 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0071 | .0000 | -.0071 | -.0754 | .0000 |
| .0000 | -.6022 | .0000 | -.6022 | .5185 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 679.61343685 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0319 | .0000 | -.0319 | -.0307 | .0000 |
| .0000 | .3689 | .0000 | .3689 | .8514 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.800 .800 .000

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 183.24882232 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.7005 | .0000 | .7005 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.0964 | .0000 | .0964 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 235.79866626 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .7052 | .0000 | .7052 | .0362 | .0000 |
| .0000 | -.0391 | .0000 | -.0391 | .0297 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 325.99420963 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0272 | .0000 | -.0272 | .9985 | .0000 |
| .0000 | -.0175 | .0000 | -.0175 | .0285 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 618.85728257 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0964 | .0000 | -.0964 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.7005 | .0000 | .7005 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 645.26109611 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0406 | .0000 | -.0406 | -.0302 | .0000 |
| .0000 | -.7003 | .0000 | -.7003 | .1223 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 694.66005896 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0153 | .0000 | -.0153 | -.0261 | .0000 |
| .0000 | .0880 | .0000 | .0880 | .9916 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR
.900 .900 .000

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 190.14428258 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.7019 | .0000 | .7019 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.0859 | .0000 | .0859 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 205.67312126 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .7034 | .0000 | .7034 | .0111 | .0000 |
| .0000 | -.0710 | .0000 | -.0710 | .0142 | .0000 |
| FREQUENCY | 344.52838949 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0085 | .0000 | -.0085 | .9999 | .0000 |
| .0000 | -.0060 | .0000 | -.0060 | .0073 | .0000 |
| FREQUENCY | 622.17916695 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0859 | .0000 | -.0859 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.7019 | .0000 | .7019 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 629.41517713 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0713 | .0000 | -.0713 | -.0100 | .0000 |
| .0000 | -.7028 | .0000 | -.7028 | .0429 | .0000 |
| FREQUENCY | 706.49121202 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0068 | .0000 | -.0068 | -.0070 | .0000 |
| .0000 | .0313 | .0000 | .0313 | .9990 | .0000 |
| NEW WAVE VECTOR | | | | | |
| 1.000 | 1.000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 192.53215617 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0016 | .9932 | .0000 | .0001 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.0002 | -.1166 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 192.53215619 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0001 | -.0027 | .9932 | .0000 | .0000 |
| .0003 | -.1166 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 351.10548200 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1.0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 623.24404385 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.0095 | -.1162 | .0000 | .0000 |
| -.0806 | -.9899 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 623.24404397 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.0014 | -.1166 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.0120 | -.9931 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 710.68721649 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1.0000 | .0000 |
| .900 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 191.03281607 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |

| | | | | | |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| .0000 | .0000 | -.1751 | .8162 | .3632 | -.3941 |
| .0000 | .0000 | -.0549 | -.0001 | .1138 | .0000 |
| FREQUENCY | 191.03281607 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | .3628 | .3945 | .1743 | .8163 |
| .0000 | .0000 | .1138 | .0001 | .0549 | .0000 |
| FREQUENCY | 346.30822336 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .9205 | -.3821 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .0756 | -.0314 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 621.43625518 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.0379 | -.0786 | -.0329 | -.0852 |
| .0000 | .0000 | .7325 | .0144 | .6688 | .0000 |
| FREQUENCY | 621.43625518 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.0346 | .0846 | .0394 | -.0778 |
| .0000 | .0000 | .6687 | .0132 | -.7326 | .0000 |
| FREQUENCY | 711.71570391 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| -.0697 | -.0430 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .8486 | .5227 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .800 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 186.39934458 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | .4548 | -.5177 | -.5083 | .4935 |
| .0000 | .0000 | .1034 | .0035 | -.1118 | .0000 |
| FREQUENCY | 186.39934458 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.4912 | -.5106 | -.4368 | -.5330 |
| .0000 | .0000 | -.1117 | -.0038 | -.1035 | .0000 |
| FREQUENCY | 332.19599821 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .9699 | -.1854 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .1551 | -.0296 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 616.21993571 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.0733 | -.0777 | -.0740 | -.0795 |
| .0000 | .0000 | .7016 | -.0117 | .6960 | .0000 |
| FREQUENCY | 616.21993571 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | .0727 | -.0807 | -.0720 | .0789 |
| .0000 | .0000 | -.6959 | .0117 | .7017 | .0000 |
| FREQUENCY | 714.58505397 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| -.0657 | -.1436 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .4108 | .8979 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

.700 .000 .000
 FREQUENCY 178.25317497
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .5668 -.3925 -.5833 .3857
 .0000 .0000 .1317 .0007 -.1351 .0000

FREQUENCY 178.25317497
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .5813 .3888 .5648 .3955
 .0000 .0000 .1351 .0007 .1317 .0000

FREQUENCY 309.51439874
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .9593 -.1719 .0000 .0000 .0000 .0000
 .2205 -.0395 .0000 .0000 .0000 .0000

FREQUENCY 608.19502782
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.1145 -.0721 -.1058 -.0779
 .0000 .0000 .7211 .0004 .6666 .0000

FREQUENCY 608.19502782
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.1059 .0779 .1146 -.0720
 .0000 .0000 .6666 .0004 -.7211 .0000

FREQUENCY 718.74396506
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .2151 -.0626 .0000 .0000 .0000 .0000
 -.9358 .2723 .0000 .0000 .0000 .0000

.600 .000 .000
 FREQUENCY 166.05960512
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 .6294 -.2858 -.6185 .2939
 .0000 .0000 .1647 .0007 -.1616 .0000

FREQUENCY 166.05960512
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.6174 -.2963 -.6282 -.2883
 .0000 .0000 -.1616 -.0006 -.1647 .0000

FREQUENCY 279.27301939
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.9393 .2001 .0000 .0000 .0000 .0000
 -.2725 .0581 .0000 .0000 .0000 .0000

FREQUENCY 598.28568033
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.1503 -.0652 -.1464 -.0702
 .0000 .0000 .6998 -.0120 .6760 .0000

FREQUENCY 598.28568033
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0000 -.1452 .0727 .1492 -.0678
 .0000 .0000 .6759 -.0116 -.6999 .0000

FREQUENCY 723.51735099
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .2750 -.0449 .0000 .0000 .0000 .0000

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | - .9478 | .1548 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .500 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | | 149.27799669 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6520 | -.2211 | -.6355 | .2159 |
| | .0000 | .0000 | .1963 | -.0029 | -.1923 | .0000 |
| FREQUENCY | | 149.27799669 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.6386 | -.2065 | -.6552 | -.2114 |
| | .0000 | .0000 | -.1923 | .0028 | -.1963 | .0000 |
| FREQUENCY | | 242.56953535 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.8975 | .3013 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.3053 | .1025 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | | 587.61595952 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .1782 | .0704 | .1880 | .0590 |
| | .0000 | .0000 | -.6567 | -.0272 | -.7018 | .0000 |
| FREQUENCY | | 587.61595952 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.1903 | .0512 | .1809 | -.0630 |
| | .0000 | .0000 | .7012 | .0290 | -.6572 | .0000 |
| FREQUENCY | | 728.29104146 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .3150 | -.0670 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.9260 | .1969 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .400 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | | 127.56120189 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6730 | -.1454 | -.6326 | .1579 |
| | .0000 | .0000 | .2314 | .0010 | -.2173 | .0000 |
| FREQUENCY | | 127.56120189 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.6320 | -.1605 | -.6724 | -.1483 |
| | .0000 | .0000 | -.2173 | -.0009 | -.2314 | .0000 |
| FREQUENCY | | 200.50076718 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.9341 | -.0346 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.3550 | -.0131 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | | 577.33790693 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.2249 | -.0507 | -.2117 | -.0528 |
| | .0000 | .0000 | .6901 | .0029 | .6504 | .0000 |
| FREQUENCY | | 577.33790693 | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.2120 | .0519 | .2251 | -.0497 |
| | .0000 | .0000 | .6504 | .0027 | -.6901 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 732.60196944 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3509 | -.0554 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9233 | .1457 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .300 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 100.95562243 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6916 | -.0880 | -.6129 | .1112 | |
| .0000 | .0000 | .2660 | .0040 | -.2351 | .0000 | |
| FREQUENCY | 100.95562243 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.6112 | -.1203 | -.6902 | -.0983 | |
| .0000 | .0000 | -.2350 | -.0035 | -.2660 | .0000 | |
| FREQUENCY | 154.14274967 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.9251 | .0081 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.3796 | .0033 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 568.45340593 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2624 | -.0327 | -.2331 | -.0422 | |
| .0000 | .0000 | .6999 | -.0125 | .6197 | .0000 | |
| FREQUENCY | 568.45340593 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2323 | .0463 | .2618 | -.0374 | |
| .0000 | .0000 | .6196 | -.0110 | -.7000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 736.14818326 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3758 | -.0538 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9158 | .1310 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .200 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 70.02933957 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.3951 | .0644 | .8310 | -.0398 | |
| .0000 | .0000 | -.1652 | -.0080 | .3468 | .0000 | |
| FREQUENCY | 70.02933957 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .8281 | .0798 | .3915 | .0834 | |
| .0000 | .0000 | .3464 | .0167 | .1654 | .0000 | |
| FREQUENCY | 104.56049722 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.9164 | .0561 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.3955 | .0242 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 561.69399892 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .2694 | .0249 | .2715 | .0271 | |
| .0000 | .0000 | -.6505 | .0058 | -.6551 | .0000 | |
| FREQUENCY | 561.69399892 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2712 | .0295 | .2691 | -.0273 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .6551 | -.0058 | -.6506 | .0000 |
| FREQUENCY | 738.75760704 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .3954 | -.0260 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.9162 | .0602 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .100 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 35.87620121 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.8610 | -.0539 | -.3030 | -.0417 |
| .0000 | .0000 | -.3793 | -.0172 | -.1343 | .0000 |
| FREQUENCY | 35.87620121 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3046 | .0279 | .8626 | -.0148 |
| .0000 | .0000 | -.1342 | -.0061 | .3797 | .0000 |
| FREQUENCY | 52.82110782 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.9136 | .0252 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.4057 | .0112 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 557.50030077 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3003 | -.0141 | -.2676 | -.0146 |
| .0000 | .0000 | .6833 | .0025 | .6090 | .0000 |
| FREQUENCY | 557.50030077 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2676 | .0136 | .3003 | -.0130 |
| .0000 | .0000 | .6090 | .0022 | -.6833 | .0000 |
| FREQUENCY | 740.34562804 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .4054 | -.0202 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.9128 | .0454 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .9125 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .4091 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2487 | .0000 | -.8780 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.1115 | .0000 | -.3936 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.8780 | .0000 | .2487 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.3936 | .0000 | .1115 | .0000 |
| FREQUENCY | 556.08281064 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2928 | .0000 | -.2856 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .6532 | .0000 | .6372 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 556.08281064 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2856 | .0000 | .2928 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | .6372 | .0000 | -.6532 | .0000 | |
| FREQUENCY | 740.87785255 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .4091 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.9125 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .050 | .050 | .050 | | | | |
| FREQUENCY | 25.74144441 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .7463 | -.0184 | -.3732 | .0092 | -.3732 | .0092 | |
| .3306 | .0000 | -.1653 | .0000 | -.1653 | .0000 | |
| FREQUENCY | 25.74144478 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6463 | -.0159 | -.6463 | .0159 | |
| .0000 | .0000 | .2863 | .0000 | -.2863 | .0000 | |
| FREQUENCY | 51.99929481 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.5271 | -.0240 | -.5271 | -.0240 | -.5271 | -.0240 | |
| -.2343 | .0000 | -.2343 | .0000 | -.2343 | .0000 | |
| FREQUENCY | 556.88421258 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3305 | -.0081 | -.1653 | .0041 | -.1653 | .0041 | |
| -.7466 | .0000 | .3733 | .0000 | .3733 | .0000 | |
| FREQUENCY | 556.88421266 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .2863 | -.0070 | -.2863 | .0070 | |
| .0000 | .0000 | -.6465 | .0000 | .6465 | .0000 | |
| FREQUENCY | 740.55562609 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.2341 | -.0107 | -.2341 | -.0107 | -.2341 | -.0107 | |
| .5277 | .0000 | .5277 | .0000 | .5277 | .0000 | |
| .100 | .100 | .100 | | | | |
| FREQUENCY | 50.24615086 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .7497 | -.0398 | -.3749 | .0199 | -.3749 | .0199 | |
| .3209 | .0000 | -.1605 | .0000 | -.1605 | .0000 | |
| FREQUENCY | 50.24615104 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6493 | -.0345 | -.6493 | .0345 | |
| .0000 | .0000 | .2779 | .0000 | -.2779 | .0000 | |
| FREQUENCY | 102.91740356 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.5280 | -.0474 | -.5280 | -.0474 | -.5280 | -.0474 | |
| -.2287 | .0000 | -.2287 | .0000 | -.2287 | .0000 | |
| FREQUENCY | 559.25857771 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3205 | -.0170 | -.1602 | .0085 | -.1602 | .0085 | |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | - .7508 | .0000 | .3754 | .0000 | .3754 | .0000 |
| FREQUENCY | 559.25857780 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2775 | -.0147 | -.2775 | .0147 |
| | .0000 | .0000 | -.6502 | .0000 | .6502 | .0000 |
| FREQUENCY | 739.59400635 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.2278 | -.0204 | -.2278 | -.0204 | -.2278 | -.0204 |
| | .5301 | .0000 | .5301 | .0000 | .5301 | .0000 |
| | .150 | .150 | .150 | | | |
| FREQUENCY | 72.43658347 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7540 | .0676 | .3770 | -.0338 | .3770 | -.0338 |
| | -.3058 | .0000 | .1529 | .0000 | .1529 | .0000 |
| FREQUENCY | 72.43658359 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6530 | -.0585 | -.6530 | .0585 |
| | .0000 | .0000 | .2648 | .0000 | -.2648 | .0000 |
| FREQUENCY | 151.67523215 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5297 | -.0694 | -.5297 | -.0694 | -.5297 | -.0694 |
| | -.2191 | .0000 | -.2191 | .0000 | -.2191 | .0000 |
| FREQUENCY | 563.09649976 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .3046 | -.0273 | -.1523 | .0136 | -.1523 | .0136 |
| | -.7571 | .0000 | .3785 | .0000 | .3785 | .0000 |
| FREQUENCY | 563.09649985 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2638 | -.0236 | -.2638 | .0236 |
| | .0000 | .0000 | -.6556 | .0000 | .6556 | .0000 |
| FREQUENCY | 738.01335801 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.2172 | -.0285 | -.2172 | -.0285 | -.2172 | -.0285 |
| | .5342 | .0000 | .5342 | .0000 | .5342 | .0000 |
| | .200 | .200 | .200 | | | |
| FREQUENCY | 91.52729267 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7573 | .1046 | .3786 | -.0523 | .3786 | -.0523 |
| | -.2868 | .0000 | .1434 | .0000 | .1434 | .0000 |
| FREQUENCY | 91.52729276 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6558 | -.0906 | -.6558 | .0906 |
| | .0000 | .0000 | .2484 | .0000 | -.2484 | .0000 |
| FREQUENCY | 197.19654557 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5323 | -.0887 | -.5323 | -.0887 | -.5323 | -.0887 |
| | -.2051 | .0000 | -.2051 | .0000 | -.2051 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 568.16291333 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2841 | -.0392 | -.1420 | .0196 | -.1420 | .0196 |
| | -.7645 | .0000 | .3822 | .0000 | .3822 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 568.16291342 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2460 | -.0340 | -.2460 | .0340 |
| | .0000 | .0000 | -.6621 | .0000 | .6621 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 735.86457567 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.2023 | -.0337 | -.2023 | -.0337 | -.2023 | -.0337 |
| | .5397 | .0000 | .5397 | .0000 | .5397 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .250 | .250 | .250 | | | |
| FREQUENCY | 107.10223163 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7566 | .1535 | .3783 | -.0767 | .3783 | -.0767 |
| | -.2658 | .0000 | .1329 | .0000 | .1329 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 107.10223170 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6552 | -.1329 | -.6552 | .1329 |
| | .0000 | .0000 | .2302 | .0000 | -.2302 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 238.40634296 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5366 | -.1031 | -.5366 | -.1031 | -.5366 | -.1031 |
| | -.1866 | .0000 | -.1866 | .0000 | -.1866 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 574.05838098 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2605 | -.0528 | -.1302 | .0264 | -.1302 | .0264 |
| | -.7720 | .0000 | .3860 | .0000 | .3860 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 574.05838107 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2256 | -.0458 | -.2256 | .0458 |
| | .0000 | .0000 | -.6686 | .0000 | .6686 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 733.25250094 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1832 | -.0352 | -.1832 | -.0352 | -.1832 | -.0352 |
| | .5464 | .0000 | .5464 | .0000 | .5464 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .300 | .300 | .300 | | | |
| FREQUENCY | 119.11426820 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.7483 | .2161 | .3741 | -.1081 | .3741 | -.1081 |
| | -.2450 | .0000 | .1225 | .0000 | .1225 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 119.11426826 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .6480 | -.1872 | -.6480 | .1871 |
| | .0000 | .0000 | .2122 | .0000 | -.2122 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 274.23046350 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5432 | -.1082 | -.5432 | -.1082 | -.5432 | -.1082 |

| | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | - .1631 | .0000 | - .1631 | .0000 | - .1631 | .0000 |
| FREQUENCY | 580.22220915 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .2354 | -.0680 | -.1177 | .0340 | -.1177 | .0340 |
| | -.7789 | .0000 | .3894 | .0000 | .3894 | .0000 |
| FREQUENCY | 580.22220925 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .2039 | -.0589 | -.2039 | .0589 |
| | .0000 | .0000 | -.6745 | .0000 | .6745 | .0000 |
| FREQUENCY | 730.36244854 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.1599 | -.0319 | -.1599 | -.0319 | -.1599 | -.0319 |
| | .5538 | .0000 | .5538 | .0000 | .5538 | .0000 |
| | .350 | .350 | .350 | | | |
| FREQUENCY | 127.80577253 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.7279 | .2924 | .3640 | -.1462 | .3639 | -.1462 |
| | -.2265 | .0000 | .1133 | .0000 | .1133 | .0000 |
| FREQUENCY | 127.80577258 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .6304 | -.2533 | -.6304 | .2533 |
| | .0000 | .0000 | .1962 | .0000 | -.1962 | .0000 |
| FREQUENCY | 303.60550805 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.5534 | -.0946 | -.5534 | -.0946 | -.5534 | -.0946 |
| | -.1348 | .0000 | -.1348 | .0000 | -.1348 | .0000 |
| FREQUENCY | 585.99078441 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .2102 | -.0844 | -.1051 | .0422 | -.1051 | .0422 |
| | -.7845 | .0000 | .3922 | .0000 | .3922 | .0000 |
| FREQUENCY | 585.99078450 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .1820 | -.0731 | -.1820 | .0731 |
| | .0000 | .0000 | -.6794 | .0000 | .6794 | .0000 |
| FREQUENCY | 727.47841597 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.1329 | -.0227 | -.1329 | -.0227 | -.1329 | -.0227 |
| | .5614 | .0000 | .5614 | .0000 | .5614 | .0000 |
| | .400 | .400 | .400 | | | |
| FREQUENCY | 133.57620276 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.6910 | .3798 | .3455 | -.1899 | .3455 | -.1899 |
| | -.2119 | .0000 | .1060 | .0000 | .1060 | .0000 |
| FREQUENCY | 133.57620280 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .5984 | -.3289 | -.5984 | .3289 |
| | .0000 | .0000 | .1836 | .0000 | -.1836 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 325.51633051 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.5667 | -.0396 | -.5667 | -.0396 | -.5667 | -.0396 | |
| -.1033 | .0000 | -.1033 | .0000 | -.1033 | .0000 | |
| FREQUENCY | 590.69577472 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .1857 | -.1021 | -.0929 | .0510 | -.0929 | .0510 | |
| -.7885 | .0000 | .3943 | .0000 | .3943 | .0000 | |
| FREQUENCY | 590.69577481 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .1609 | -.0884 | -.1609 | .0884 | |
| .0000 | .0000 | -.6829 | .0000 | .6829 | .0000 | |
| FREQUENCY | 724.97352500 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.1030 | -.0072 | -.1030 | -.0072 | -.1030 | -.0072 | |
| .5680 | .0000 | .5680 | .0000 | .5680 | .0000 | |
| .450 | .450 | .450 | | | | |
| FREQUENCY | 136.83672804 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.6347 | .4719 | .3174 | -.2359 | .3174 | -.2359 | |
| -.2027 | .0000 | .1013 | .0000 | .1013 | .0000 | |
| FREQUENCY | 136.83672809 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .5497 | -.4087 | -.5497 | .4087 | |
| .0000 | .0000 | .1755 | .0000 | -.1755 | .0000 | |
| FREQUENCY | 339.08009788 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.5612 | .1140 | -.5612 | .1140 | -.5612 | .1140 | |
| -.0734 | .0000 | -.0734 | .0000 | -.0734 | .0000 | |
| FREQUENCY | 593.77089874 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .1626 | -.1209 | -.0813 | .0605 | -.0813 | .0605 | |
| -.7909 | .0000 | .3955 | .0000 | .3955 | .0000 | |
| FREQUENCY | 593.77089883 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .1409 | -.1047 | -.1409 | .1047 | |
| .0000 | .0000 | -.6850 | .0000 | .6850 | .0000 | |
| FREQUENCY | 723.25123584 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.0719 | .0146 | -.0719 | .0146 | -.0719 | .0146 | |
| .5727 | .0000 | .5727 | .0000 | .5727 | .0000 | |
| .500 | .500 | .500 | | | | |
| FREQUENCY | 137.88722554 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.5599 | .5599 | .2799 | -.2799 | .2799 | -.2799 | |
| -.1995 | .0000 | .0997 | .0000 | .0997 | .0000 | |
| FREQUENCY | 137.88722558 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .4848 | -.4848 | -.4848 | .4848 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .1728 | .0000 | -.1728 | .0000 |
| FREQUENCY | 343.67662164 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.4061 | .4061 | -.4061 | .4061 | -.4061 | .4061 |
| -.0589 | .0000 | -.0589 | .0000 | -.0589 | .0000 |
| FREQUENCY | 594.83979501 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .1411 | -.1411 | -.0705 | .0705 | -.0705 | .0705 |
| -.7918 | .0000 | .3959 | .0000 | .3959 | .0000 |
| FREQUENCY | 594.83979510 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .1222 | -.1222 | -.1222 | .1222 |
| .0000 | .0000 | -.6857 | .0000 | .6857 | .0000 |
| FREQUENCY | 722.63531163 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.0416 | .0416 | -.0416 | .0416 | -.0416 | .0416 |
| .5743 | .0000 | .5743 | .0000 | .5743 | .0000 |



ALN

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.8113 | .0007 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.5846 | .0005 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3670 | .0000 | -.7235 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.2645 | .0000 | -.5214 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .7235 | .0000 | -.3670 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .5214 | .0000 | -.2645 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 657.93237086 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3988 | .0000 | .4275 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.5534 | .0000 | -.5933 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 657.93237086 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4275 | .0000 | .3988 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .5933 | .0000 | -.5534 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 908.39297725 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5846 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.8113 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .100 | .100 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 54.50699048 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.5776 | .0000 | .5776 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.4079 | .0000 | .4079 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 73.34776508 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0054 | .0000 | .0054 | .8180 | .0000 |
| .0000 | -.0253 | .0000 | -.0253 | .5740 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 121.54040733 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.5752 | .0000 | -.5752 | .0040 | .0000 |
| .0000 | -.4107 | .0000 | -.4107 | -.0311 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 656.19425294 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .4079 | .0000 | -.4079 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.5776 | .0000 | .5776 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 656.99904133 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0245 | .0000 | -.0245 | -.5738 | .0000 |
| .0000 | .0005 | .0000 | .0005 | .8183 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 903.66164419 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.4105 | .0000 | -.4105 | .0393 | .0000 |
| .0000 | .5751 | .0000 | .5751 | .0023 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| .200 | .200 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 106.52485201 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.5889 | .0000 | .5889 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.3914 | .0000 | .3914 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 146.56393946 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0137 | .0000 | .0137 | .8369 | .0000 |
| .0000 | -.0483 | .0000 | -.0483 | .5428 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 235.03128767 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.5802 | .0000 | -.5802 | .0119 | .0000 |
| .0000 | -.4018 | .0000 | -.4018 | -.0606 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 651.65716078 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .3914 | .0000 | -.3914 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.5889 | .0000 | .5889 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 655.45027966 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.0474 | .0000 | -.0474 | -.5420 | .0000 |
| .0000 | -.0026 | .0000 | -.0026 | .8377 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 889.10307903 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.4012 | .0000 | -.4012 | .0755 | .0000 |
| .0000 | .5798 | .0000 | .5798 | .0071 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| .300 | .300 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 153.94690434 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | -.6059 | .0000 | .6059 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.3646 | .0000 | .3646 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 219.74528003 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0287 | .0000 | .0287 | .8639 | .0000 |
| .0000 | -.0664 | .0000 | -.0664 | .4932 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 333.17375386 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .5904 | .0000 | .5904 | -.0284 | .0000 |
| .0000 | .3840 | .0000 | .3840 | .0843 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FREQUENCY | 646.04668186 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .3646 | .0000 | -.3646 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6059 | .0000 | .6059 | .0000 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 656.15984812 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.0665 | .0000 | -.0665 | -.4915 | .0000 | |
| .0000 | -.0108 | .0000 | -.0108 | .8657 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 863.99666684 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.3823 | .0000 | -.3823 | .1066 | .0000 | |
| .0000 | .5900 | .0000 | .5900 | .0165 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .400 | .400 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 195.38126360 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.6259 | .0000 | .6259 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | -.3290 | .0000 | .3290 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 292.91287324 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0577 | .0000 | .0577 | .8929 | .0000 | |
| .0000 | -.0755 | .0000 | -.0755 | .4297 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 409.73263450 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.6083 | .0000 | -.6083 | .0635 | .0000 | |
| .0000 | -.3517 | .0000 | -.3517 | -.0923 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 641.34919578 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .3290 | .0000 | -.3290 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | -.6259 | .0000 | .6259 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 661.70695994 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.0770 | .0000 | -.0770 | -.4259 | .0000 | |
| .0000 | -.0231 | .0000 | -.0231 | .8976 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 828.32653024 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.3475 | .0000 | -.3475 | .1314 | .0000 | |
| .0000 | .6083 | .0000 | .6083 | .0340 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .500 | .500 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 230.29721884 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .6458 | .0000 | -.6458 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .2880 | .0000 | -.2880 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 364.71479030 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .1230 | .0000 | .1230 | .9122 | .0000 | |
| .0000 | -.0688 | .0000 | -.0688 | .3581 | .0000 | |

| | | | | | | |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY [†] | 459.42344610 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .6312 | .0000 | .6312 | -.1516 | .0000 | |
| .0000 | .2964 | .0000 | .2964 | .0666 | .0000 | |

FREQUENCY 644.92208780
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.2440 .0000 .2880 .0000 .0000
 .0000 .6448 .0000 -.6458 .0000 .0000

FREQUENCY 672.96878081
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0715 .0000 -.0715 -.3517 .0000
 .0000 -.0420 .0000 -.0420 .9287 .0000

FREQUENCY 704.47630708
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.2852 .0000 -.2852 .1459 .0000
 .0000 .6369 .0000 .6369 .0689 .0000

NEW WAVE VECTOR

.600 .600 .000

FREQUENCY 248.82686015
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.6428 .0000 .6628 .0000 .0000
 .0000 -.2463 .0000 .2463 .0000 .0000

FREQUENCY 426.66409976
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .3423 .0000 .3423 .8299 .0000
 .0000 -.0226 .0000 -.0226 .2757 .0000

FREQUENCY 442.17355635
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .5888 .0000 .5888 -.4635 .0000
 .0000 .2130 .0000 .2130 -.0318 .0000

FREQUENCY 648.99322462
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.2463 .0000 .2463 .0000 .0000
 .0000 .6628 .0000 -.6628 .0000 .0000

FREQUENCY 668.62031877
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0459 .0000 -.0459 -.2820 .0000
 .0000 -.1093 .0000 -.1093 .9447 .0000

FREQUENCY 719.32468027
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.1846 .0000 -.1846 .1304 .0000
 .0000 .6649 .0000 .6649 .1749 .0000

NEW WAVE VECTOR

.700 .700 .000

FREQUENCY 281.27596587
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6756 .0000 -.6756 .0000 .0000
 .0000 .2087 .0000 -.2087 .0000 .0000

FREQUENCY 432.25496545
 X_R Z_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .6607 .0000 .6607 .3303 .0000
 .0000 .0008 .0000 .0008 .1341 .0000

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 517.43021982 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .2421 | .0000 | .2421 | -.9159 | .0000 | |
| .0000 | .1153 | .0000 | .1153 | -.1316 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 640.80588417 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .2087 | .0000 | -.2087 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | -.6756 | .0000 | .6756 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 693.61911336 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0071 | .0000 | .0071 | -.2161 | .0000 | |
| .0000 | -.6052 | .0000 | -.6052 | .4697 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 714.28559556 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.0696 | .0000 | -.0696 | -.0734 | .0000 | |
| .0000 | .3470 | .0000 | .3470 | .8626 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| .800 | .800 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 297.69235777 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .6840 | .0000 | -.6840 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .1793 | .0000 | -.1793 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 385.65271964 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.6958 | .0000 | -.6958 | -.1214 | .0000 | |
| .0000 | .0801 | .0000 | .0801 | -.0651 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 565.74068007 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.0960 | .0000 | -.0960 | .9844 | .0000 | |
| .0000 | -.0552 | .0000 | -.0552 | .0800 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 643.18293516 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .1793 | .0000 | -.1793 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | -.6840 | .0000 | .6840 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 669.23738045 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.0766 | .0000 | -.0766 | -.1025 | .0000 | |
| .0000 | -.6941 | .0000 | -.6941 | .1198 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 728.49452919 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.0288 | .0000 | -.0288 | -.0754 | .0000 | |
| .0000 | .0940 | .0000 | .0940 | .9874 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| .900 | .900 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 307.79500755 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .6886 | .0000 | -.6886 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .1606 | .0000 | -.1606 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 333.99933092 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.6929 | .0000 | -.6929 | -.0435 | .0000 |
| .0000 | .1361 | .0000 | .1361 | -.0285 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 599.55958147 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0331 | .0000 | -.0331 | .9986 | .0000 |
| .0000 | -.0063 | .0000 | -.0063 | .0227 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 645.06107223 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .1606 | .0000 | -.1606 | .0000 | .0000 |
| .0000 | -.6886 | .0000 | .6886 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 652.05411164 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.1364 | .0000 | -.1364 | -.0188 | .0000 |
| .0000 | -.6930 | .0000 | -.6930 | .0450 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 740.86765979 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0128 | .0000 | -.0128 | -.0231 | .0000 |
| .0000 | .0353 | .0000 | .0353 | .9983 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

1.000 1.000 .000

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 311.21678450 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0038 | -.9759 | .0000 | -.0001 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.0009 | .2181 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 311.21678453 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0001 | .0146 | -.9758 | .0000 | .0000 |
| -.0033 | .2181 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 611.63075440 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | -1.0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 645.76255402 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0104 | .2178 | .0000 | .0000 |
| .0465 | .9748 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 645.76255421 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.0096 | .2179 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.0429 | .9750 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 745.48675607 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1.0000 | .0000 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .900 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 307.96344474 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | -.2857 | .6455 | .2865 | -.6030 |
| .0000 | .0000 | -.1625 | .0042 | .1720 | .0000 |
| FREQUENCY | 307.96344474 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3022 | .5953 | .3024 | .6378 |
| .0000 | .0000 | .1719 | -.0045 | .1626 | .0000 |
| FREQUENCY | 594.93129046 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .8828 | -.3727 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .2634 | -.1112 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.77769266 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.0759 | -.1399 | -.0707 | -.1602 |
| .0000 | .0000 | .7279 | -.0163 | .6433 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.77769266 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.0671 | .1618 | .0728 | -.1416 |
| .0000 | .0000 | .6432 | -.0144 | -.7281 | .0000 |
| FREQUENCY | 757.25479890 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.1290 | -.2552 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .4323 | .8552 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .800 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 298.11166548 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4775 | .4924 | .4643 | -.4834 |
| .0000 | .0000 | -.2008 | .0046 | .1999 | .0000 |
| FREQUENCY | 298.11166548 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4754 | -.4725 | -.4888 | -.4812 |
| .0000 | .0000 | -.1999 | .0046 | -.2008 | .0000 |
| FREQUENCY | 555.06237135 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .8825 | -.1799 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .4257 | -.0868 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.92114048 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.1452 | -.1427 | -.1314 | -.1470 |
| .0000 | .0000 | .6991 | .0230 | .6561 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.92114048 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.1362 | .1426 | .1498 | -.1379 |
| .0000 | .0000 | .6557 | .0216 | -.6994 | .0000 |
| FREQUENCY | 782.36981401 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .3584 | -.2456 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.7429 | .5092 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .700 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 281.45683555 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .5652 | -.3537 | -.5583 | .3555 | |
| .0000 | .0000 | .2435 | -.0008 | -.2410 | .0000 | |
| FREQUENCY | 281.45683555 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.5595 | -.3537 | -.5663 | -.3519 | |
| .0000 | .0000 | -.2410 | .0008 | -.2435 | .0000 | |
| FREQUENCY | 503.25659550 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.8581 | .0990 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.5006 | .0578 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 646.42575087 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2047 | -.1359 | -.2011 | -.1288 | |
| .0000 | .0000 | .6632 | .0219 | .6651 | .0000 | |
| FREQUENCY | 646.42575087 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2052 | .1221 | .2091 | -.1291 | |
| .0000 | .0000 | .6647 | .0219 | -.6635 | .0000 | |
| FREQUENCY | 809.72847759 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .4867 | -.1305 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.8343 | .2236 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .600 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 257.85494434 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.5701 | .2647 | .6193 | -.2431 | |
| .0000 | .0000 | -.2729 | .0003 | .2965 | .0000 | |
| FREQUENCY | 257.85494434 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .6195 | .2425 | .5703 | .2642 | |
| .0000 | .0000 | .2965 | -.0003 | .2729 | .0000 | |
| FREQUENCY | 443.89460654 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.8330 | .1222 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.5338 | .0783 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 647.51259882 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .2480 | .1147 | .2767 | .1058 | |
| .0000 | .0000 | -.6123 | .0069 | -.6802 | .0000 | |
| FREQUENCY | 647.51259882 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2755 | .1089 | .2467 | -.1175 | |
| .0000 | .0000 | .6802 | -.0076 | -.6123 | .0000 | |
| FREQUENCY | 835.18921889 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .5266 | -.1174 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| - .8218 | .1832 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .500 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 227.40724185 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .5763 | -.1717 | -.6319 | .1717 |
| .0000 | .0000 | .3097 | .0082 | -.3371 | .0000 |
| FREQUENCY | 227.40724185 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.6271 | -.1884 | -.5716 | -.1869 |
| .0000 | .0000 | -.3370 | -.0089 | -.3098 | .0000 |
| FREQUENCY | 378.75455205 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.8287 | .0171 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.5593 | .0115 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 649.24660483 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3050 | .0814 | .3190 | .0909 |
| .0000 | .0000 | -.6179 | .0255 | -.6387 | .0000 |
| FREQUENCY | 649.24660483 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3150 | .1039 | .3014 | -.0939 |
| .0000 | .0000 | .6381 | -.0263 | -.6184 | .0000 |
| FREQUENCY | 857.34737339 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5525 | -.0876 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.8187 | .1298 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .400 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 190.57153434 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .6584 | -.0962 | -.5334 | .1369 |
| .0000 | .0000 | .3923 | .0084 | -.3161 | .0000 |
| FREQUENCY | 190.57153434 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.5304 | -.1483 | -.6562 | -.1102 |
| .0000 | .0000 | -.3160 | -.0068 | -.3924 | .0000 |
| FREQUENCY | 308.88335951 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.8204 | .0316 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.5705 | .0220 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 651.47289622 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3768 | -.0685 | -.3179 | -.0783 |
| .0000 | .0000 | .6598 | .0041 | .5575 | .0000 |
| FREQUENCY | 651.47289622 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3184 | .0764 | .3772 | -.0662 |
| .0000 | .0000 | .5575 | .0034 | -.6598 | .0000 |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 875.68136999 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .5637 | -.0908 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.8105 | .1305 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .300 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 148.17383359 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .5592 | -.0621 | -.6214 | .0785 | |
| .0000 | .0000 | .3619 | .0159 | -.3999 | .0000 | |
| FREQUENCY | 148.17383359 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.6173 | -.1056 | -.5559 | -.0866 | |
| .0000 | .0000 | -.3995 | -.0175 | -.3623 | .0000 | |
| FREQUENCY | 235.15894592 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| -.8159 | -.0194 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.5777 | -.0137 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 653.85315712 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.3803 | -.0565 | -.3748 | -.0534 | |
| .0000 | .0000 | .5992 | .0061 | .5914 | .0000 | |
| FREQUENCY | 653.85315712 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.3754 | .0495 | .3809 | -.0527 | |
| .0000 | .0000 | .5914 | .0060 | -.5992 | .0000 | |
| FREQUENCY | 889.99364609 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .5718 | -.0834 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.8076 | .1178 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .200 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 101.34955097 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.7490 | .0114 | .3400 | -.0649 | |
| .0000 | .0000 | -.5146 | -.0123 | .2325 | .0000 | |
| FREQUENCY | 101.34955097 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .3383 | .0730 | .7486 | .0293 | |
| .0000 | .0000 | .2324 | .0056 | .5147 | .0000 | |
| FREQUENCY | 158.46655449 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| -.8100 | -.0732 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.5795 | -.0524 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 655.96538048 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.4056 | -.0327 | -.3901 | -.0352 | |
| .0000 | .0000 | .5948 | -.0017 | .5720 | .0000 | |
| FREQUENCY | 655.96538048 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.3900 | .0363 | .4055 | -.0338 | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .5720 | -.0016 | -.5948 | .0000 |
| FREQUENCY | 900.21997200 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5790 | -.0577 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.8093 | .0807 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .100 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 51.45820848 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .6998 | -.0847 | .4076 | .0290 |
| .0000 | .0000 | .4983 | -.0722 | .2873 | .0000 |
| FREQUENCY | 51.45820848 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3993 | -.0871 | -.7047 | .0165 |
| .0000 | .0000 | .2843 | -.0412 | -.5035 | .0000 |
| FREQUENCY | 79.74784342 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.8048 | .1065 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.5789 | .0766 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 657.41627348 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4151 | -.0134 | -.4041 | -.0172 |
| .0000 | .0000 | .5839 | -.0047 | .5683 | .0000 |
| FREQUENCY | 657.41627348 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4039 | .0204 | .4149 | -.0167 |
| .0000 | .0000 | .5683 | -.0045 | -.5839 | .0000 |
| FREQUENCY | 906.35079199 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5835 | -.0238 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.8111 | .0331 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.8113 | .0007 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.5846 | .0005 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3670 | .0000 | -.7235 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.2645 | .0000 | -.5214 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .7235 | .0000 | -.3670 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .5214 | .0000 | -.2645 | .0000 |
| FREQUENCY | 657.93237086 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3988 | .0000 | .4275 | .0000 |
| .0000 | .0000 | -.5534 | .0000 | -.5933 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 657.93237086 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.4275 | .0000 | .3988 | .0000 |
| | .0000 | .0000 | .5933 | .0000 | -.5534 | .0000 |
| FREQUENCY | 908.39297725 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .5846 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.8113 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .050 | .050 | .050 | | | |
| FREQUENCY | 37.51300445 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .6641 | -.0140 | -.3321 | .0070 | -.3321 | .0070 |
| | .4747 | .0000 | -.2374 | .0000 | -.2374 | .0000 |
| FREQUENCY | 37.51300510 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .5752 | -.0121 | -.5752 | .0121 |
| | .0000 | .0000 | .4111 | .0000 | -.4111 | .0000 |
| FREQUENCY | 77.13071257 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.4683 | -.0233 | -.4683 | -.0233 | -.4683 | -.0233 |
| | -.3369 | .0000 | -.3369 | .0000 | -.3369 | .0000 |
| FREQUENCY | 657.36048922 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .4746 | -.0100 | -.2373 | .0050 | -.2373 | .0050 |
| | -.6643 | .0000 | .3321 | .0000 | .3321 | .0000 |
| FREQUENCY | 657.36048932 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .4111 | -.0087 | -.4111 | .0087 |
| | .0000 | .0000 | -.5753 | .0000 | .5753 | .0000 |
| FREQUENCY | 906.55539953 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.3365 | -.0167 | -.3365 | -.0167 | -.3365 | -.0167 |
| | .4689 | .0000 | .4689 | .0000 | .4689 | .0000 |
| | .100 | .100 | .100 | | | |
| FREQUENCY | 73.76551591 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.6690 | .0310 | .3345 | -.0155 | .3345 | -.0155 |
| | -.4671 | .0000 | .2335 | .0000 | .2335 | .0000 |
| FREQUENCY | 73.76551623 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .5794 | -.0268 | -.5794 | .0268 |
| | .0000 | .0000 | .4045 | .0000 | -.4045 | .0000 |
| FREQUENCY | 153.29803571 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.4681 | -.0461 | -.4681 | -.0461 | -.4681 | -.0461 |
| | -.3348 | .0000 | -.3348 | .0000 | -.3348 | .0000 |
| FREQUENCY | 655.74680492 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .4666 | -.0216 | -.2333 | .0108 | -.2333 | .0108 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| - .6697 | .0000 | .3349 | .0000 | .3349 | .0000 |
| FREQUENCY | 655.74680502 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .4041 | -.0187 | -.4041 | .0187 |
| .0000 | .0000 | -.5800 | .0000 | .5800 | .0000 |
| FREQUENCY | 901.04697336 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.3332 | -.0328 | -.3332 | -.0328 | -.3332 | -.0328 |
| .4704 | .0000 | .4704 | .0000 | .4704 | .0000 |
| .150 | .150 | .150 | | | |
| FREQUENCY | 107.57839864 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .6761 | -.0540 | -.3381 | .0270 | -.3381 | .0270 |
| .4546 | .0000 | -.2273 | .0000 | -.2273 | .0000 |
| FREQUENCY | 107.57839886 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .5855 | -.0467 | -.5855 | .0467 |
| .0000 | .0000 | .3937 | .0000 | -.3937 | .0000 |
| FREQUENCY | 227.54080956 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.4681 | -.0679 | -.4681 | -.0679 | -.4681 | -.0679 |
| -.3310 | .0000 | -.3310 | .0000 | -.3310 | .0000 |
| FREQUENCY | 653.37325091 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .4531 | -.0362 | -.2266 | .0181 | -.2266 | .0181 |
| -.6783 | .0000 | .3391 | .0000 | .3391 | .0000 |
| FREQUENCY | 653.37325102 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3924 | -.0313 | -.3924 | .0313 |
| .0000 | .0000 | -.5874 | .0000 | .5874 | .0000 |
| FREQUENCY | 891.88704793 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.3276 | -.0475 | -.3276 | -.0475 | -.3276 | -.0475 |
| .4730 | .0000 | .4730 | .0000 | .4730 | .0000 |
| .200 | .200 | .200 | | | |
| FREQUENCY | 137.93413821 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.6838 | .0861 | .3419 | -.0431 | .3419 | -.0431 |
| -.4378 | .0000 | .2189 | .0000 | .2189 | .0000 |
| FREQUENCY | 137.93413837 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .5922 | -.0746 | -.5922 | .0746 |
| .0000 | .0000 | .3792 | .0000 | -.3792 | .0000 |
| FREQUENCY | 298.89297600 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.4691 | -.0876 | -.4691 | -.0876 | -.4691 | -.0876 |
| -.3250 | .0000 | -.3250 | .0000 | -.3250 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 650.63475764 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .4344 | -.0547 | -.2172 | .0274 | -.2172 | .0274 |
| | -.6892 | .0000 | .3446 | .0000 | .3446 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 650.63475775 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .3762 | -.0474 | -.3762 | .0474 |
| | .0000 | .0000 | -.5969 | .0000 | .5969 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 879.13288639 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.3195 | -.0597 | -.3195 | -.0597 | -.3195 | -.0597 |
| | .4772 | .0000 | .4772 | .0000 | .4772 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .250 | .250 | .250 | | | |
| FREQUENCY | 164.04935233 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.6892 | .1303 | .3446 | -.0652 | .3446 | -.0652 |
| | -.4179 | .0000 | .2090 | .0000 | .2090 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 164.04935246 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .5969 | -.1129 | -.5969 | .1129 |
| | .0000 | .0000 | .3619 | .0000 | -.3619 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 366.34997521 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.4721 | -.1039 | -.4721 | -.1039 | -.4721 | -.1039 |
| | -.3157 | .0000 | -.3157 | .0000 | -.3157 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 647.94436007 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .4106 | -.0777 | -.2053 | .0388 | -.2053 | .0388 |
| | -.7014 | .0000 | .3507 | .0000 | .3507 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 647.94436018 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .3556 | -.0672 | -.3556 | .0672 |
| | .0000 | .0000 | -.6075 | .0000 | .6075 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 862.93216622 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.3083 | -.0678 | -.3083 | -.0678 | -.3083 | -.0678 |
| | .4834 | .0000 | .4834 | .0000 | .4834 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .300 | .300 | .300 | | | |
| FREQUENCY | 185.42584535 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.6883 | .1888 | .3442 | -.0944 | .3442 | -.0944 |
| | -.3965 | .0000 | .1983 | .0000 | .1983 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 185.42584546 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .5961 | -.1635 | -.5961 | .1635 |
| | .0000 | .0000 | .3434 | .0000 | -.3434 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 428.77528305 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.4793 | -.1136 | -.4793 | -.1136 | -.4793 | -.1136 |

| | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -.3012 | .0000 | -.3012 | .0000 | -.3012 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.63602668 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .3824 | -.1049 | -.1912 | .0524 | -.1912 | .0524 |
| | -.7138 | .0000 | .3569 | .0000 | .3569 | .0000 |
| FREQUENCY | 645.63602679 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .3312 | -.0908 | -.3312 | .0908 |
| | .0000 | .0000 | -.6181 | .0000 | .6181 | .0000 |
| FREQUENCY | 843.63807883 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.2931 | -.0695 | -.2931 | -.0695 | -.2931 | -.0695 |
| | .4926 | .0000 | .4926 | .0000 | .4926 | .0000 |
| | .350 | .350 | .350 | | | |
| FREQUENCY | 201.85906977 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.6759 | .2620 | .3379 | -.1310 | .3379 | -.1310 |
| | -.3758 | .0000 | .1879 | .0000 | .1879 | .0000 |
| FREQUENCY | 201.85906986 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .5853 | -.2269 | -.5853 | .2269 |
| | .0000 | .0000 | .3255 | .0000 | -.3255 | .0000 |
| FREQUENCY | 484.66470017 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.4939 | -.1095 | -.4939 | -.1095 | -.4939 | -.1095 |
| | -.2783 | .0000 | -.2783 | .0000 | -.2783 | .0000 |
| FREQUENCY | 643.89737784 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .3504 | -.1358 | -.1752 | .0679 | -.1752 | .0679 |
| | -.7249 | .0000 | .3624 | .0000 | .3624 | .0000 |
| FREQUENCY | 643.89737795 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .3035 | -.1176 | -.3035 | .1176 |
| | .0000 | .0000 | -.6278 | .0000 | .6278 | .0000 |
| FREQUENCY | 822.06823134 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.2717 | -.0602 | -.2717 | -.0602 | -.2717 | -.0602 |
| | .5059 | .0000 | .5059 | .0000 | .5059 | .0000 |
| | .400 | .400 | .400 | | | |
| FREQUENCY | 213.38705403 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .6462 | -.3473 | -.3231 | .1737 | -.3231 | .1737 |
| | .3584 | .0000 | -.1792 | .0000 | -.1792 | .0000 |
| FREQUENCY | 213.38705412 | | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.5597 | .3008 | .5597 | -.3008 |
| | .0000 | .0000 | -.3104 | .0000 | .3104 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 531.57628689 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5196 | -.0709 | -.5196 | -.0709 | -.5196 | -.0709 |
| | -.2414 | .0000 | -.2414 | .0000 | -.2414 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 642.75884314 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .3157 | -.1696 | -.1578 | .0848 | -.1578 | .0848 |
| | -.7336 | .0000 | .3668 | .0000 | .3668 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 642.75884326 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2734 | -.1469 | -.2734 | .1469 |
| | .0000 | .0000 | -.6354 | .0000 | .6354 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 800.09836071 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.2392 | -.0326 | -.2392 | -.0326 | -.2392 | -.0326 |
| | .5244 | .0000 | .5244 | .0000 | .5244 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .450 | .450 | .450 | | | |
| FREQUENCY | 220.18315031 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .5955 | -.4380 | -.2978 | .2190 | -.2978 | .2190 |
| | .3467 | .0000 | -.1733 | .0000 | -.1733 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 220.18315039 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.5157 | .3793 | .5157 | -.3793 |
| | .0000 | .0000 | -.3002 | .0000 | .3002 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 564.96876841 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5417 | .0681 | -.5417 | .0681 | -.5417 | .0681 |
| | -.1879 | .0000 | -.1879 | .0000 | -.1879 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 642.14358209 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .2793 | -.2054 | -.1396 | .1027 | -.1396 | .1027 |
| | -.7392 | .0000 | .3696 | .0000 | .3696 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 642.14358221 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .2419 | -.1779 | -.2419 | .1779 |
| | .0000 | .0000 | -.6402 | .0000 | .6402 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 781.84615323 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.1864 | .0234 | -.1864 | .0234 | -.1864 | .0234 |
| | .5459 | .0000 | .5459 | .0000 | .5459 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | .500 | .500 | .500 | | | |
| FREQUENCY | 222.42426431 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .5241 | -.5241 | -.2620 | .2620 | -.2620 | .2620 |
| | .3426 | .0000 | -.1713 | .0000 | -.1713 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 222.42426439 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .4539 | -.4539 | -.4539 | .4539 |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .2967 | .0000 | -.2967 | .0000 |
| FREQUENCY | 577.61273259 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .3940 | -.3940 | .3940 | -.3940 | .3940 | -.3940 |
| .1511 | .0000 | .1511 | .0000 | .1511 | .0000 |
| FREQUENCY | 641.95288660 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.2422 | .2422 | .1211 | -.1211 | .1211 | -.1211 |
| .7412 | .0000 | -.3706 | .0000 | -.3706 | .0000 |
| FREQUENCY | 641.95288672 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2098 | .2098 | .2098 | -.2098 |
| .0000 | .0000 | .6419 | .0000 | -.6419 | .0000 |
| FREQUENCY | 774.27858663 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .1069 | -.1069 | .1069 | -.1069 | .1069 | -.1069 |
| -.5572 | .0000 | -.5572 | .0000 | -.5572 | .0000 |



BN

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.6600 | .0000 | .0001 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.7513 | .0000 | .0001 | .0000 | -.0001 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.0001 | .0000 | -.6515 | .0000 | .1050 | .0000 |
| -.0001 | .0000 | -.7417 | .0000 | .1195 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .1050 | .0000 | .6515 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .1195 | .0000 | .7417 | .0000 |
| FREQUENCY | 1049.22659841 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.6462 | .0000 | -.3833 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .5676 | .0000 | .3367 | .0000 |
| FREQUENCY | 1049.22659841 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3833 | .0000 | .6462 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .3367 | .0000 | -.5676 | .0000 |
| FREQUENCY | 1306.38480034 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .7513 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.6600 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| NEW WAVE VECTOR | | | | | |
| .100 | .100 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 102.27743584 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0005 | .4667 | -.0005 | -.4667 | .0000 | .0000 |
| .0006 | .5312 | -.0006 | -.5312 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 138.05997878 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0054 | .0000 | .0054 | .6610 | .0000 |
| .0000 | -.0199 | .0000 | -.0199 | .7498 | .0000 |
| FREQUENCY | 209.70867381 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.4667 | .0000 | -.4667 | .0142 | .0000 |
| .0000 | -.5306 | .0000 | -.5306 | -.0340 | .0000 |
| FREQUENCY | 1043.83245711 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0001 | -.5312 | -.0001 | .5312 | .0000 | .0000 |
| -.0001 | .4667 | .0001 | -.4667 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 1045.30097769 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | -.0190 | .0000 | -.0190 | -.7500 | .0000 |
| .0000 | -.0145 | .0000 | -.0145 | .6606 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1304.08143960 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.5309 | .0000 | -.5309 | .0211 | .0000 |
| .0000 | .4668 | .0000 | .4668 | .0139 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .200 | .200 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 202.93220251 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0004 | -.4669 | -.0004 | .4669 | .0000 | .0000 |
| .0005 | -.5310 | -.0005 | .5310 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 276.43438654 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0095 | .0000 | -.0095 | -.6638 | .0000 |
| .0000 | .0386 | .0000 | .0386 | -.7458 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 403.93433514 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.4664 | .0000 | -.4664 | .0365 | .0000 |
| .0000 | -.5282 | .0000 | -.5282 | -.0753 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1028.87183482 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0001 | .5310 | -.0001 | -.5310 | .0000 | .0000 |
| -.0001 | -.4669 | .0001 | .4669 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1036.20002177 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0411 | .0000 | -.0411 | -.7460 | .0000 |
| .0000 | -.0367 | .0000 | -.0367 | .6613 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1294.88113396 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.5298 | .0000 | -.5298 | .0376 | .0000 |
| .0000 | .4671 | .0000 | .4671 | .0284 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .300 | .300 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 300.09978864 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.0005 | -.4672 | .0005 | .4672 | .0000 | .0000 |
| -.0005 | -.5308 | .0005 | .5308 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 414.66432346 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0112 | .0000 | -.0112 | -.6675 | .0000 |
| .0000 | .0553 | .0000 | .0553 | -.7403 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 569.70216630 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.4644 | .0000 | -.4644 | .0741 | .0000 |
| .0000 | -.5225 | .0000 | -.5225 | -.1307 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1007.56890369 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.0001 | .5308 | .0001 | -.5308 | .0000 | .0000 |
| .0001 | -.4672 | -.0001 | .4672 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1028.36361241 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0698 | .0000 | -.0698 | -.7394 | .0000 |
| .0000 | -.0727 | .0000 | -.0727 | .6580 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1272.90092667 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.5285 | .0000 | -.5285 | .0467 | .0000 |
| .0000 | .4676 | .0000 | .4676 | .0437 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .400 | .400 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 391.56522745 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0001 | .4677 | -.0001 | -.4677 | .0000 | .0000 |
| .0001 | .5304 | -.0001 | -.5304 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 551.06863094 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.0098 | .0000 | -.0098 | -.6704 | .0000 |
| .0000 | .0700 | .0000 | .0700 | -.7353 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 698.87213642 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .4586 | .0000 | .4586 | -.1287 | .0000 |
| .0000 | .5108 | .0000 | .5108 | .2024 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 984.04536286 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | -.5304 | .0000 | .5304 | .0000 | .0000 |
| .0000 | .4677 | .0000 | -.4677 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1028.00046468 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .1052 | .0000 | .1052 | .7293 | .0000 |
| .0000 | .1251 | .0000 | .1251 | -.6439 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 1231.05933160 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .5277 | .0000 | .5277 | -.0460 | .0000 |
| .0000 | -.4675 | .0000 | -.4675 | -.0613 | .0000 |

NEW WAVE VECTOR

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .500 | .500 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 474.82945912 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0002 | -.4687 | -.0002 | .4687 | .0000 | .0000 |
| .0002 | -.5294 | -.0002 | .5294 | .0000 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 682.57742518 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0047 | .0000 | .0047 | .6688 | .0000 |
| .0000 | -.0849 | .0000 | -.0849 | .7337 | .0000 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FREQUENCY | 790.63502708 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .4492 | .0000 | .4492 | -.1860 | .0000 |
| .0000 | .4923 | .0000 | .4923 | .2777 | .0000 |

FREQUENCY 962.06567543
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .5294 .0000 -.5294 .0000 .0000
 .0000 -.4687 .0000 .4687 .0000 .0000

FREQUENCY 1036.25862764
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .1305 .0000 .1305 .7194 .0000
 .0000 .1899 .0000 .1899 -.6135 .0000

FREQUENCY 1163.92495564
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.5302 .0000 -.5302 .0254 .0000
 .0000 .4631 .0000 .4631 .0908 .0000

NEW WAVE VECTOR
 .600 .600 .000

FREQUENCY 547.29761421
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 -.0001 .4709 .0000 -.4709 .0000 .0000
 -.0001 .5275 .0000 -.5275 .0000 .0000

FREQUENCY 804.47374043
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.0079 .0000 -.0079 .6558 .0000
 .0000 -.1108 .0000 -.1108 .7384 .0000

FREQUENCY 851.84304603
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .4442 .0000 .4442 -.2067 .0000
 .0000 .4744 .0000 .4744 .3355 .0000

FREQUENCY 944.14050103
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.5275 .0000 .5275 .0000 .0000
 .0000 .4709 .0000 -.4709 .0000 .0000

FREQUENCY 1044.65269423
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .0326 .0000 .0326 -.6927 .0000
 .0000 -.3609 .0000 -.3609 .5075 .0000

FREQUENCY 1073.45473673
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 -.5492 .0000 -.5492 -.2178 .0000
 .0000 .3639 .0000 .3639 .2909 .0000

NEW WAVE VECTOR
 .700 .700 .000

FREQUENCY 606.50740443
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .4746 .0000 -.4746 .0000 .0000
 .0000 .5241 .0000 -.5241 .0000 .0000

FREQUENCY 890.22699257
 X_R X_I Y_R Y_I Z_R Z_I
 .0000 .4362 .0000 .4362 -.2814 .0000
 .0000 .5011 .0000 .5011 .1951 .0000

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 908.83498285 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.1370 | .0000 | -.1370 | -.5270 | .0000 | |
| .0000 | .1284 | .0000 | .1284 | -.8073 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 931.25052287 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.5241 | .0000 | .5241 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .4746 | .0000 | -.4746 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 952.63304976 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.4871 | .0000 | -.4871 | .2575 | .0000 | |
| .0000 | .4679 | .0000 | .4679 | .1460 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 1062.31073691 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.2317 | .0000 | -.2317 | -.7594 | .0000 | |
| .0000 | -.1161 | .0000 | -.1161 | .5375 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR
.800 .800 .000

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 650.35059636 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| -.0002 | .4796 | .0002 | -.4796 | .0000 | .0000 | |
| -.0002 | .5196 | .0002 | -.5196 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 827.20174083 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .4772 | .0000 | .4772 | -.0360 | .0000 | |
| .0000 | -.5206 | .0000 | -.5206 | .0355 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 910.81823910 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .4976 | .0000 | .4976 | -.1709 | .0000 | |
| .0000 | .4685 | .0000 | .4685 | .1917 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 923.13517542 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.5196 | .0000 | .5196 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .4796 | .0000 | -.4796 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 990.32894738 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | .0617 | .0000 | .0617 | -.4261 | .0000 | |
| .0000 | .0406 | .0000 | .0406 | -.8986 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 1076.02811003 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0000 | -.1447 | .0000 | -.1447 | -.8877 | .0000 | |
| .0000 | -.0886 | .0000 | -.0886 | .3930 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR
.900 .900 .000

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| FREQUENCY | 677.26364163 | | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I | |
| .0002 | .4843 | -.0002 | -.4843 | .0000 | .0000 | |
| .0002 | .5152 | -.0002 | -.5152 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 726.69253510 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .4855 | .0000 | .4855 | -.0236 | .0000 | |
| .0000 | -.5138 | .0000 | -.5138 | .0087 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 917.04266129 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .5086 | .0000 | .5086 | -.0821 | .0000 | |
| .0000 | .4832 | .0000 | .4832 | .0946 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 918.88632840 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.5152 | .0000 | .5152 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .4843 | .0000 | -.4843 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1031.10874146 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0457 | .0000 | .0457 | -.1270 | .0000 | |
| .0000 | .0378 | .0000 | .0378 | -.9883 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1097.46814564 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | -.0597 | .0000 | -.0597 | -.9882 | .0000 | |
| .0000 | -.0327 | .0000 | -.0327 | .1189 | .0000 | |

NEW WAVE VECTOR
1.000 1.000 .000

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 686.33145085 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .3389 | -.5984 | .0000 | .0000 | |
| -.3577 | .6317 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 686.33145091 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.1040 | .6798 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | .1098 | -.7176 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 917.59547215 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.2178 | -.6926 | .0000 | .0000 | |
| -.2063 | -.6560 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 917.59547225 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.0736 | -.7223 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | -.0697 | -.6842 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1041.62625820 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | -1.0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1109.36979841 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1.0000 | .0009 | |
| .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .900 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 673.55518814 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| .0000 | .0000 | .2092 | -.4196 | -.1890 | .4647 |
| .0000 | .0000 | .5396 | .0001 | -.4872 | .0000 |
| FREQUENCY | 673.55518814 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .1889 | .4648 | .2092 | .4196 |
| .0000 | .0000 | .4872 | .0001 | .5396 | .0000 |
| FREQUENCY | 924.13302504 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .2066 | .4793 | .2130 | .4590 |
| .0000 | .0000 | -.4755 | -.0024 | -.4955 | .0000 |
| FREQUENCY | 924.13302504 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.2153 | .4579 | .2091 | -.4783 |
| .0000 | .0000 | .4954 | .0025 | -.4755 | .0000 |
| FREQUENCY | 1000.23617601 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.1685 | .4750 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.2888 | .8140 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 1140.39739790 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .7563 | -.4172 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.4413 | .2434 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .800 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 638.63856618 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.3986 | .2970 | .1987 | -.4256 |
| .0000 | .0000 | -.6221 | .0618 | .3761 | .0000 |
| FREQUENCY | 638.63856618 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .2398 | .4039 | .4260 | .2561 |
| .0000 | .0000 | .3743 | -.0372 | .6251 | .0000 |
| FREQUENCY | 927.23279024 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5842 | .1285 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .7826 | .1721 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 940.42441059 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3857 | .3430 | .3103 | .4118 |
| .0000 | .0000 | -.5289 | -.0075 | -.4335 | .0000 |
| FREQUENCY | 940.42441059 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | .3161 | -.4074 | -.3905 | .3375 |
| .0000 | .0000 | -.4334 | -.0062 | .5290 | .0000 |
| FREQUENCY | 1182.57150170 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.3691 | .7113 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .2756 | -.5310 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .700 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | | 587.50964737 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4023 | .2688 | .3957 | -.2680 | |
| .0000 | .0000 | -.5211 | .0047 | .5157 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 587.50964737 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .3981 | .2644 | .4047 | .2652 | |
| .0000 | .0000 | .5157 | -.0046 | .5211 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 840.98592179 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.4973 | -.3856 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.6142 | -.4763 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 960.80927462 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .4276 | .2846 | .4388 | .2848 | |
| .0000 | .0000 | -.4765 | .0060 | -.4851 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 960.80927462 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4352 | .2903 | .4240 | -.2899 | |
| .0000 | .0000 | .4851 | -.0061 | -.4766 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 1218.29155179 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.7703 | -.1036 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .6236 | .0839 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .600 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | | 524.34485760 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4389 | .2195 | .4197 | -.1993 | |
| .0000 | .0000 | -.5258 | .0288 | .5158 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 524.34485760 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .4299 | .1761 | .4503 | .1952 | |
| .0000 | .0000 | .5150 | -.0282 | .5266 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 743.74124291 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.6030 | -.2242 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.7176 | -.2668 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 981.54327969 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | .4710 | .2287 | .4728 | .2138 | |
| .0000 | .0000 | -.4742 | -.0117 | -.4813 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 981.54327969 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4779 | .2021 | .4765 | -.2170 | |
| .0000 | .0000 | .4812 | .0119 | -.4743 | .0000 | |
| FREQUENCY | | 1246.57357655 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .6753 | -.3606 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |

| | | | | | | |
|-----------|---------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | - .5675 | .3031 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .500 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | | 451.62129933 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.4802 | .1329 | .4234 | -.1533 |
| | .0000 | .0000 | -.5561 | -.0024 | .4896 | .0000 |
| FREQUENCY | | 451.62129933 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .4227 | .1551 | .4796 | .1350 |
| | .0000 | .0000 | .4896 | .0021 | .5561 | .0000 |
| FREQUENCY | | 636.59395502 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.6452 | -.0855 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.7527 | -.0998 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | | 1000.73241860 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.5162 | -.1559 | -.4807 | -.1648 |
| | .0000 | .0000 | .4911 | .0021 | .4580 | .0000 |
| FREQUENCY | | 1000.73241860 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.4814 | .1628 | .5169 | -.1537 |
| | .0000 | .0000 | .4580 | .0020 | -.4911 | .0000 |
| FREQUENCY | | 1268.03773097 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .7589 | .0221 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.6505 | -.0189 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .400 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | | 371.03908397 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .4744 | -.4432 | -.1141 | .1064 |
| | .0000 | .0000 | .5421 | -.4544 | -.2322 | .0000 |
| FREQUENCY | | 371.03908397 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | .1558 | .0082 | .6483 | .0349 |
| | .0000 | .0000 | .1780 | -.1492 | .7073 | .0000 |
| FREQUENCY | | 520.68166975 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | -.6537 | .0412 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.7541 | .0475 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | | 1017.40408654 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.5664 | -.1705 | -.4338 | -.1270 |
| | .0000 | .0000 | .5206 | .0641 | .4131 | .0000 |
| FREQUENCY | | 1017.40408654 | | | | |
| | X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| | .0000 | .0000 | -.4461 | .0730 | .5830 | -.1000 |
| | .0000 | .0000 | .4100 | .0505 | -.5246 | .0000 |

| | | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| FREQUENCY | 1283.64863116 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .7439 | .1325 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.6449 | -.1148 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .300 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 284.06712331 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.4910 | -.1380 | -.4192 | -.0748 | |
| .0000 | .0000 | -.5586 | -.0824 | -.4895 | .0000 | |
| FREQUENCY | 284.06712331 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.4256 | .0128 | .5059 | -.0648 | |
| .0000 | .0000 | -.4843 | -.0715 | .5647 | .0000 | |
| FREQUENCY | 397.36614279 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| -.6546 | .0616 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.7501 | .0706 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 1030.96698878 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .5198 | .0873 | .5239 | .0792 | |
| .0000 | .0000 | -.4675 | -.0066 | -.4721 | .0000 | |
| FREQUENCY | 1030.96698878 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.5249 | .0717 | .5210 | -.0800 | |
| .0000 | .0000 | .4721 | .0067 | -.4675 | .0000 | |
| FREQUENCY | 1294.43621169 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .7534 | -.0013 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.6575 | .0011 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| .200 | .000 | .000 | | | | |
| FREQUENCY | 192.18077122 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .3638 | .0452 | -.5502 | .0344 | |
| .0000 | .0000 | .4137 | .1096 | -.6153 | .0000 | |
| FREQUENCY | 192.18077122 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.5230 | -.1742 | -.3632 | -.0495 | |
| .0000 | .0000 | -.5948 | -.1576 | -.4280 | .0000 | |
| FREQUENCY | 268.24995611 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| -.6445 | -.1375 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| -.7356 | -.1570 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | |
| FREQUENCY | 1040.99099016 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | -.4378 | .0263 | -.6064 | -.0414 | |
| .0000 | .0000 | .3884 | -.0736 | .5310 | .0000 | |
| FREQUENCY | 1040.99099016 | | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I | |
| .0000 | .0000 | .5881 | -.1536 | -.4350 | .0557 | |

| | | | | | |
|-----------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| .0000 | .0000 | -.5217 | .0989 | .3953 | .0000 |
| FREQUENCY | 1301.35381345 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .7476 | .0826 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.6550 | -.0723 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .100 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | 96.94162591 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | .4415 | .0032 | -.4908 | .0200 |
| .0000 | .0000 | .5024 | .0289 | -.5573 | .0000 |
| FREQUENCY | 96.94162591 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.4889 | -.0482 | -.4409 | -.0222 |
| .0000 | .0000 | -.5563 | -.0320 | -.5032 | .0000 |
| FREQUENCY | 135.14209601 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| -.6026 | -.2685 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.6865 | -.3058 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| FREQUENCY | 1047.14887835 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.3419 | .0452 | -.6668 | -.0155 |
| .0000 | .0000 | .3010 | -.0663 | .5841 | .0000 |
| FREQUENCY | 1047.14887835 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.6479 | .1585 | .3436 | -.0294 |
| .0000 | .0000 | .5705 | -.1256 | -.3083 | .0000 |
| FREQUENCY | 1305.17030111 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .7492 | -.0584 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.6577 | .0513 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| .000 | .000 | .000 | | | |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| -.6600 | .0000 | .0001 | .0000 | .0000 | .0000 |
| -.7513 | .0000 | .0001 | .0000 | -.0001 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| -.0001 | .0000 | -.6515 | .0000 | .1050 | .0000 |
| -.0001 | .0000 | -.7417 | .0000 | .1195 | .0000 |
| FREQUENCY | .00000000 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | .1050 | .0000 | .6515 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .1195 | .0000 | .7417 | .0000 |
| FREQUENCY | 1049.22659841 | | | | |
| X_R | X_I | Y_R | Y_I | Z_R | Z_I |
| .0000 | .0000 | -.6462 | .0000 | -.3833 | .0000 |
| .0000 | .0000 | .5676 | .0000 | .3367 | .0000 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 1049.22659841 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | -.3833 | .0000 | .6462 | .0000 |
| | .0000 | .0000 | .3367 | .0000 | -.5676 | .0000 |
| FREQUENCY | 1306.38480034 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .7513 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | -.6600 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| | .050 | .050 | .050 | | | |
| FREQUENCY | 70.34662720 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5388 | .0125 | .2694 | -.0062 | .2694 | -.0062 |
| | -.6133 | .0000 | .3066 | .0000 | .3067 | .0000 |
| FREQUENCY | 70.34662803 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .4666 | -.0108 | -.4666 | .0108 |
| | .0000 | .0000 | .5312 | .0000 | -.5311 | .0000 |
| FREQUENCY | 133.91781219 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.3809 | -.0134 | -.3809 | -.0134 | -.3809 | -.0134 |
| | -.4337 | .0000 | -.4337 | .0000 | -.4337 | .0000 |
| FREQUENCY | 1047.34942825 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .6132 | -.0142 | -.3066 | .0071 | -.3066 | .0071 |
| | -.5390 | .0000 | .2695 | .0000 | .2695 | .0000 |
| FREQUENCY | 1047.34942829 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .5310 | -.0123 | -.5310 | .0123 |
| | .0000 | .0000 | -.4668 | .0000 | .4668 | .0000 |
| FREQUENCY | 1305.62059801 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.4334 | -.0152 | -.4334 | -.0152 | -.4334 | -.0152 |
| | .3811 | .0000 | .3811 | .0000 | .3811 | .0000 |
| | .100 | .100 | .100 | | | |
| FREQUENCY | 138.86936288 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.5386 | .0274 | .2693 | -.0137 | .2693 | -.0137 |
| | -.6130 | .0000 | .3065 | .0000 | .3065 | .0000 |
| FREQUENCY | 138.86936331 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | .0000 | .0000 | .4665 | -.0237 | -.4665 | .0237 |
| | .0000 | .0000 | .5309 | .0000 | -.5309 | .0000 |
| FREQUENCY | 265.72261496 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.3806 | -.0260 | -.3806 | -.0260 | -.3806 | -.0260 |
| | -.4334 | .0000 | -.4334 | .0000 | -.4334 | .0000 |
| FREQUENCY | 1041.94270392 | | | | | |
| | X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| | -.6122 | .0312 | .3061 | -.0156 | .3061 | -.0156 |

| | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| .5393 | .0000 | -.2697 | .0000 | -.2697 | .0000 |
| FREQUENCY | 1041.94270396 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0000 | .5302 | -.0270 | -.5302 | .0270 |
| .0000 | .0000 | -.4671 | .0000 | .4671 | .0000 |
| FREQUENCY | 1303.16199245 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.4324 | -.0296 | -.4324 | -.0296 | -.4324 | -.0296 |
| .3815 | .0000 | .3815 | .0000 | .3815 | .0000 |
| .150 | .150 | .150 | | | |
| FREQUENCY | 203.81042758 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .5377 | -.0472 | -.2688 | .0236 | -.2689 | .0236 |
| .6126 | .0000 | -.3063 | .0000 | -.3063 | .0000 |
| FREQUENCY | 203.81042788 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0000 | -.4657 | .0409 | .4657 | -.0409 |
| .0000 | .0000 | -.5305 | .0000 | .5305 | .0000 |
| FREQUENCY | 393.34565075 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.3801 | -.0370 | -.3801 | -.0370 | -.3801 | -.0370 |
| -.4330 | .0000 | -.4330 | .0000 | -.4330 | .0000 |
| FREQUENCY | 1033.64151494 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .6102 | -.0535 | -.3051 | .0268 | -.3052 | .0268 |
| -.5398 | .0000 | .2699 | .0000 | .2699 | .0000 |
| FREQUENCY | 1033.64151498 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.0001 | .0000 | .5285 | -.0464 | -.5285 | .0464 |
| .0000 | .0000 | -.4675 | .0000 | .4675 | .0000 |
| FREQUENCY | 1298.53460024 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.4309 | -.0420 | -.4309 | -.0420 | -.4309 | -.0420 |
| .3819 | .0000 | .3819 | .0000 | .3819 | .0000 |
| .200 | .200 | .200 | | | |
| FREQUENCY | 263.53732325 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.5353 | .0739 | .2677 | -.0370 | .2676 | -.0369 |
| -.6121 | .0000 | .3061 | .0000 | .3060 | .0000 |
| FREQUENCY | 263.53732350 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| .0000 | .0000 | -.4635 | .0640 | .4636 | -.0640 |
| .0000 | .0000 | -.5301 | .0000 | .5301 | .0000 |
| FREQUENCY | 514.79594798 | | | | |
| \bar{X}_R | \bar{X}_I | \bar{Y}_R | \bar{Y}_I | \bar{Z}_R | \bar{Z}_I |
| -.3798 | -.0452 | -.3798 | -.0452 | -.3798 | -.0452 |
| -.4325 | .0000 | -.4325 | .0000 | -.4325 | .0000 |

FREQUENCY 1023.38542272
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.6064 -.0837 -.3032 .0419 -.3032 .0418
-.5403 .0000 .2702 .0000 .2701 .0000

FREQUENCY 1023.38542275
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.0000 .0000 -.5251 .0725 .5251 -.0725
.0000 .0000 .4679 .0000 -.4680 .0000

FREQUENCY 1291.02741765
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.4295 .0511 .4295 .0511 .4295 .0511
-.3825 .0000 -.3825 .0000 -.3825 .0000

.250 .250 .250
FREQUENCY 316.58912405
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.5297 -.1090 -.2649 .0545 -.2648 .0545
.6117 .0000 -.3059 .0000 -.3058 .0000

FREQUENCY 316.58912427
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.0000 .0000 -.4587 .0944 .4588 -.0944
.0000 .0000 -.5297 .0000 .5298 .0000

FREQUENCY 628.16289430
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
-.3798 -.0485 -.3798 -.0485 -.3798 -.0485
-.4321 .0000 -.4321 .0000 -.4321 .0000

FREQUENCY 1012.27612791
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.5991 -.1233 -.2996 .0617 -.2995 .0616
-.5408 .0000 .2705 .0000 .2703 .0000

FREQUENCY 1012.27612794
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
-.0001 .0000 -.5188 .1068 .5189 -.1068
.0001 .0000 .4683 .0000 -.4684 .0000

FREQUENCY 1279.81940247
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.4286 .0547 .4286 .0547 .4286 .0547
-.3829 .0000 -.3829 .0000 -.3829 .0000

.300 .300 .300
FREQUENCY 361.70897835
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.5190 -.1532 -.2595 .0766 -.2595 .0766
.6114 .0000 -.3057 .0000 -.3057 .0000

FREQUENCY 361.70897855
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
.0000 .0000 -.4495 .1327 .4495 -.1327
.0000 .0000 -.5295 .0000 .5295 .0000

FREQUENCY 731.54777505
 \overline{X}_R \overline{X}_I \overline{Y}_R \overline{Y}_I \overline{Z}_R \overline{Z}_I
-.3805 -.0434 -.3805 -.0434 -.3805 -.0434

| | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| -.4321 | .0000 | -.4321 | .0000 | -.4321 | .0000 |
| FREQUENCY | 1001.43336081 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5864 | -.1731 | -.2932 | .0866 | -.2932 | .0866 |
| -.5411 | .0000 | .2706 | .0000 | .2705 | .0000 |
| FREQUENCY | 1001.43336084 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.5078 | .1499 | .5078 | -.1500 |
| .0000 | .0000 | .4686 | .0000 | -.4687 | .0000 |
| FREQUENCY | 1264.18914108 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .4293 | .0490 | .4293 | .0490 | .4293 | .0490 |
| -.3829 | .0000 | -.3829 | .0000 | -.3829 | .0000 |
| .350 | .350 | .350 | | | |
| FREQUENCY | 397.86371802 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5006 | -.2059 | -.2503 | .1029 | -.2503 | .1029 |
| .6113 | .0000 | -.3056 | .0000 | -.3057 | .0000 |
| FREQUENCY | 397.86371821 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4336 | .1783 | .4335 | -.1783 |
| .0000 | .0000 | -.5294 | .0000 | .5294 | .0000 |
| FREQUENCY | 822.81380353 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| -.3813 | -.0233 | -.3813 | -.0233 | -.3813 | -.0233 |
| -.4329 | .0000 | -.4329 | .0000 | -.4329 | .0000 |
| FREQUENCY | 991.87571934 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .5653 | -.2325 | -.2826 | .1162 | -.2827 | .1163 |
| -.5413 | .0000 | .2706 | .0000 | .2707 | .0000 |
| FREQUENCY | 991.87571936 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0001 | .0000 | -.4896 | .2014 | .4896 | -.2013 |
| -.0001 | .0000 | .4688 | .0000 | -.4687 | .0000 |
| FREQUENCY | 1243.90487077 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .4321 | .0265 | .4321 | .0265 | .4321 | .0265 |
| -.3820 | .0000 | -.3820 | .0000 | -.3820 | .0000 |
| .400 | .400 | .400 | | | |
| FREQUENCY | 424.25301115 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .4723 | -.2645 | -.2362 | .1323 | -.2361 | .1322 |
| .6113 | .0000 | -.3056 | .0000 | -.3056 | .0000 |
| FREQUENCY | 424.25301134 | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I |
| .0000 | .0000 | -.4090 | .2291 | .4090 | -.2291 |
| .0000 | .0000 | -.5294 | .0000 | .5294 | .0000 |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 898.83367343 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.3787 | .0249 | -.3787 | .0249 | -.3787 | .0249 | |
| -.4351 | .0000 | -.4351 | .0000 | -.4351 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 984.43922287 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .5333 | -.2987 | -.2667 | .1494 | -.2666 | .1493 | |
| -.5413 | .0000 | .2707 | .0000 | .2706 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 984.43922290 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4618 | .2587 | .4619 | -.2587 | |
| .0000 | .0000 | .4688 | .0000 | -.4688 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1220.10494678 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .4342 | -.0286 | .4342 | -.0286 | .4342 | -.0286 | |
| -.3795 | .0000 | -.3795 | .0000 | -.3795 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .450 | .450 | .450 | | | | |
| FREQUENCY | 440.31055088 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.4328 | .3251 | .2164 | -.1625 | .2164 | -.1625 | |
| -.6113 | .0000 | .3056 | .0000 | .3057 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 440.31055107 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.3748 | .2815 | .3748 | -.2815 | |
| .0000 | .0000 | -.5294 | .0000 | .5294 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 953.43013671 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .3541 | -.1227 | .3541 | -.1227 | .3541 | -.1227 | |
| .4392 | .0000 | .4392 | .0000 | .4392 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 979.73315636 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .4888 | -.3671 | -.2444 | .1835 | -.2444 | .1836 | |
| -.5413 | -.0001 | .2707 | .0001 | .2706 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 979.73315638 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.4233 | .3179 | .4233 | -.3180 | |
| .0000 | .0000 | .4688 | .0000 | -.4688 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 1197.46457319 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.4150 | .1437 | -.4150 | .1437 | -.4150 | .1437 | |
| .3748 | .0000 | .3748 | .0000 | .3748 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| .500 | .500 | .500 | | | | |
| FREQUENCY | 445.70015524 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| -.3827 | .3827 | .1914 | -.1914 | .1914 | -.1914 | |
| -.6113 | .0000 | .3057 | .0000 | .3056 | .0000 | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| FREQUENCY | 445.70015542 | | | | | |
| X _R | X _I | Y _R | Y _I | Z _R | Z _I | |
| .0000 | .0000 | -.3314 | .3314 | .3315 | -.3315 | |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| .0000 | .0000 | -.5294 | .0000 | .5294 | .0000 |
| FREQUENCY | 974.59997185 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.2626 | .2626 | -.2626 | .2626 | -.2626 | .2626 |
| -.4420 | .0000 | -.4420 | .0000 | -.4420 | .0000 |
| FREQUENCY | 978.12387783 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| -.4323 | .4323 | .2162 | -.2162 | .2161 | -.2161 |
| .5413 | .0000 | -.2707 | .0000 | -.2706 | .0000 |
| FREQUENCY | 978.12387785 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .0000 | .0000 | -.3743 | .3743 | .3744 | -.3744 |
| .0001 | .0000 | .4687 | .0000 | -.4688 | .0000 |
| FREQUENCY | 1187.05247025 | | | | |
| \underline{X}_R | \underline{X}_I | \underline{Y}_R | \underline{Y}_I | \underline{Z}_R | \underline{Z}_I |
| .3125 | -.3125 | .3125 | -.3125 | .3125 | -.3125 |
| -.3714 | .0000 | -.3714 | .0000 | -.3714 | .0000 |



EK.B III-N TİPİ YARIİLETKENLERİN HESAPLANAN FONON SPEKTRUMLARI

InN

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| .000000 | .0000 | .0000 | .0000 | 462.0782 | 462.0782 | 598.8903 |
| .141420 | 22.2529 | 31.7243 | 52.3428 | 463.6405 | 464.2916 | 597.5907 |
| .282840 | 42.8922 | 62.1610 | 100.4041 | 468.1300 | 470.8905 | 593.7007 |
| .424260 | 60.9129 | 90.7429 | 140.2700 | 474.9253 | 481.5755 | 587.2812 |
| .565680 | 76.1469 | 117.6599 | 168.7402 | 482.9995 | 495.5211 | 578.5012 |
| .707100 | 88.9935 | 143.1017 | 183.8241 | 491.1277 | 511.3558 | 567.6507 |
| .848520 | 99.8989 | 165.5764 | 186.2541 | 498.2331 | 527.1702 | 555.3297 |
| .989940 | 108.9793 | 168.4025 | 193.3630 | 503.6667 | 535.7185 | 547.6793 |
| 1.131360 | 115.9726 | 150.0967 | 209.4852 | 507.2745 | 524.6603 | 556.9322 |
| 1.272780 | 120.4309 | 130.5992 | 220.8819 | 509.2489 | 514.0355 | 564.6284 |
| 1.414200 | 121.9669 | 121.9669 | 224.9446 | 509.8658 | 509.8658 | 567.3674 |
| 1.514200 | 120.9519 | 120.9519 | 221.8983 | 508.6522 | 508.6522 | 568.2967 |
| 1.614200 | 117.8368 | 117.8368 | 212.9193 | 505.1368 | 505.1368 | 570.9360 |
| 1.714200 | 112.4263 | 112.4263 | 198.4448 | 499.6843 | 499.6843 | 574.8874 |
| 1.814200 | 104.4487 | 104.4487 | 179.0921 | 492.8636 | 492.8636 | 579.6164 |
| 1.914200 | 93.6352 | 93.6352 | 155.5603 | 485.3863 | 485.3863 | 584.5690 |
| 2.014200 | 79.8232 | 79.8232 | 128.5669 | 478.0197 | 478.0197 | 589.2520 |
| 2.114200 | 63.0633 | 63.0633 | 98.8213 | 471.4899 | 471.4899 | 593.2697 |
| 2.214200 | 43.6967 | 43.6967 | 67.0202 | 466.3993 | 466.3993 | 596.3312 |
| 2.314200 | 22.3735 | 22.3735 | 33.8517 | 463.1787 | 463.1787 | 598.2416 |
| 2.414190 | .0000 | .0000 | .0000 | 462.0782 | 462.0782 | 598.8903 |
| 2.500793 | 15.8174 | 15.8174 | 33.3852 | 462.7455 | 462.7456 | 598.4058 |
| 2.587395 | 30.8912 | 30.8912 | 66.0943 | 464.6994 | 464.6994 | 596.9829 |
| 2.673998 | 44.5787 | 44.5787 | 97.4467 | 467.7906 | 467.7906 | 594.7141 |
| 2.760600 | 56.4160 | 56.4160 | 126.7536 | 471.7633 | 471.7633 | 591.7574 |
| 2.847203 | 66.1560 | 66.1560 | 153.3154 | 476.2585 | 476.2585 | 588.3401 |
| 2.933805 | 73.7588 | 73.7588 | 176.4235 | 480.8391 | 480.8391 | 584.7588 |
| 3.020408 | 79.3419 | 79.3419 | 195.3742 | 485.0358 | 485.0358 | 581.3700 |
| 3.107010 | 83.1069 | 83.1069 | 209.5023 | 488.4047 | 488.4047 | 578.5615 |
| 3.193613 | 85.2629 | 85.2629 | 218.2409 | 490.5838 | 490.5838 | 576.6974 |
| 3.280215 | 85.9629 | 85.9629 | 221.2003 | 491.3374 | 491.3374 | 576.0433 |

GaN

| | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| .000000 | .0000 | .0000 | .0000 | 556.0828 | 556.0828 | 740.8779 |
| .141420 | 36.6868 | 50.7240 | 81.6013 | 557.8755 | 558.9519 | 739.9380 |
| .282840 | 70.3770 | 99.1126 | 156.3938 | 563.2164 | 567.7742 | 736.8077 |
| .424260 | 99.1900 | 144.0707 | 218.2194 | 571.7760 | 582.6869 | 730.7372 |
| .565680 | 122.8748 | 186.0001 | 262.0978 | 582.5826 | 602.8795 | 720.9655 |
| .707100 | 142.3755 | 225.7460 | 284.8049 | 594.0718 | 626.3755 | 707.1512 |
| .848520 | 158.7884 | 262.8861 | 286.0326 | 604.6048 | 650.2175 | 689.9254 |

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| .989940 | 172.5373 | 265.9910 | 298.5070 | 613.0220 | 662.5775 | 679.6134 |
| 1.131360 | 183.2488 | 235.7987 | 325.9942 | 618.8573 | 645.2611 | 694.6601 |
| 1.272780 | 190.1443 | 205.6731 | 344.5284 | 622.1792 | 629.4152 | 706.4912 |
| 1.414200 | 192.5322 | 192.5322 | 351.1055 | 623.2440 | 623.2440 | 710.6872 |
| 1.514200 | 191.0328 | 191.0328 | 346.3082 | 621.4363 | 621.4363 | 711.7157 |
| 1.614200 | 186.3993 | 186.3993 | 332.1960 | 616.2199 | 616.2199 | 714.5851 |
| 1.714200 | 178.2532 | 178.2532 | 309.5144 | 608.1950 | 608.1950 | 718.7440 |
| 1.814200 | 166.0596 | 166.0596 | 279.2730 | 598.2857 | 598.2857 | 723.5174 |
| 1.914200 | 149.2780 | 149.2780 | 242.5695 | 587.6160 | 587.6160 | 728.2910 |
| 2.014200 | 127.5612 | 127.5612 | 200.5008 | 577.3379 | 577.3379 | 732.6020 |
| 2.114200 | 100.9556 | 100.9556 | 154.1427 | 568.4534 | 568.4534 | 736.1482 |
| 2.214200 | 70.0293 | 70.0293 | 104.5605 | 561.6940 | 561.6940 | 738.7576 |
| 2.314200 | 35.8762 | 35.8762 | 52.8211 | 557.5003 | 557.5003 | 740.3456 |
| 2.414190 | .0000 | .0000 | .0000 | 556.0828 | 556.0828 | 740.8779 |
| 2.500793 | 25.7414 | 25.7414 | 51.9993 | 556.8842 | 556.8842 | 740.5556 |
| 2.587395 | 50.2462 | 50.2462 | 102.9174 | 559.2586 | 559.2586 | 739.5940 |
| 2.673998 | 72.4366 | 72.4366 | 151.6752 | 563.0965 | 563.0965 | 738.0134 |
| 2.760600 | 91.5273 | 91.5273 | 197.1965 | 568.1629 | 568.1629 | 735.8646 |
| 2.847203 | 107.1022 | 107.1022 | 238.4063 | 574.0584 | 574.0584 | 733.2525 |
| 2.933805 | 119.1143 | 119.1143 | 274.2305 | 580.2222 | 580.2222 | 730.3624 |
| 3.020408 | 127.8058 | 127.8058 | 303.6055 | 585.9908 | 585.9908 | 727.4784 |
| 3.107010 | 133.5762 | 133.5762 | 325.5163 | 590.6958 | 590.6958 | 724.9735 |
| 3.193613 | 136.8367 | 136.8367 | 339.0801 | 593.7709 | 593.7709 | 723.2512 |
| 3.280215 | 137.8872 | 137.8872 | 343.6766 | 594.8398 | 594.8398 | 722.6353 |

AIN

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| .000000 | .0000 | .0000 | .0000 | 657.9324 | 657.9324 | 908.3930 |
| .141420 | 54.5070 | 73.3478 | 121.5404 | 656.1943 | 656.9990 | 903.6616 |
| .282840 | 106.5249 | 146.5639 | 235.0313 | 651.6572 | 655.4503 | 889.1031 |
| .424260 | 153.9469 | 219.7453 | 333.1738 | 646.0467 | 656.1598 | 863.9967 |
| .565680 | 195.3813 | 292.9129 | 409.7326 | 641.3492 | 661.7070 | 828.3265 |
| .707100 | 230.2972 | 364.7148 | 459.4234 | 638.9221 | 672.9688 | 784.4763 |
| .848520 | 258.8269 | 426.6641 | 482.1736 | 638.9932 | 688.6203 | 739.3247 |
| .989940 | 281.2760 | 432.2550 | 517.4302 | 640.8059 | 693.6191 | 714.2856 |
| 1.131360 | 297.6924 | 385.6527 | 565.7407 | 643.1829 | 669.2374 | 728.4945 |
| 1.272780 | 307.7950 | 333.9993 | 599.5596 | 645.0611 | 652.0541 | 740.8677 |
| 1.414200 | 311.2168 | 311.2168 | 611.6308 | 645.7626 | 645.7626 | 745.4868 |
| 1.514200 | 307.9634 | 307.9634 | 594.9313 | 645.7777 | 645.7777 | 757.2548 |
| 1.614200 | 298.1117 | 298.1117 | 555.0624 | 645.9211 | 645.9211 | 782.3698 |
| 1.714200 | 281.4568 | 281.4568 | 503.2566 | 646.4258 | 646.4258 | 809.7285 |
| 1.814200 | 257.8549 | 257.8549 | 443.8946 | 647.5126 | 647.5126 | 835.1892 |
| 1.914200 | 227.4072 | 227.4072 | 378.7546 | 649.2466 | 649.2466 | 857.3474 |
| 2.014200 | 190.5715 | 190.5715 | 308.8834 | 651.4729 | 651.4729 | 875.6814 |
| 2.114200 | 148.1738 | 148.1738 | 235.1589 | 653.8532 | 653.8532 | 889.9936 |
| 2.214200 | 101.3496 | 101.3496 | 158.4666 | 655.9654 | 655.9654 | 900.2200 |
| 2.314200 | 51.4582 | 51.4582 | 79.7478 | 657.4163 | 657.4163 | 906.3508 |
| 2.414190 | .0000 | .0000 | .0000 | 657.9324 | 657.9324 | 908.3930 |
| 2.500793 | 37.5130 | 37.5130 | 77.1307 | 657.3605 | 657.3605 | 906.5554 |
| 2.587395 | 73.7655 | 73.7655 | 153.2980 | 655.7468 | 655.7468 | 901.0470 |
| 2.673998 | 107.5784 | 107.5784 | 227.5408 | 653.3733 | 653.3733 | 891.8870 |

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2.760600 | 137.9341 | 137.9341 | 298.8930 | 650.6348 | 650.6348 | 879.1329 |
| 2.847203 | 164.0494 | 164.0494 | 366.3500 | 647.9444 | 647.9444 | 862.9322 |
| 2.933805 | 185.4258 | 185.4258 | 428.7753 | 645.6360 | 645.6360 | 843.6381 |
| 3.020408 | 201.8591 | 201.8591 | 484.6647 | 643.8974 | 643.8974 | 822.0682 |
| 3.107010 | 213.3871 | 213.3871 | 531.5763 | 642.7588 | 642.7588 | 800.0984 |
| 3.193613 | 220.1832 | 220.1832 | 564.9688 | 642.1436 | 642.1436 | 781.8462 |
| 3.280215 | 222.4243 | 222.4243 | 577.6127 | 641.9529 | 641.9529 | 774.2786 |

BN

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| .000000 | .0000 | .0000 | .0000 | 1049.2266 | 1049.2266 | 1306.3848 |
| .141420 | 102.2774 | 138.0600 | 209.7087 | 1043.8325 | 1045.3010 | 1304.0814 |
| .282840 | 202.9322 | 276.4344 | 403.9343 | 1028.8718 | 1036.2000 | 1294.8811 |
| .424260 | 300.0998 | 414.6643 | 569.7022 | 1007.5689 | 1028.3636 | 1272.9009 |
| .565680 | 391.5652 | 551.0686 | 698.8721 | 984.0454 | 1028.0005 | 1231.0593 |
| .707100 | 474.8295 | 682.5774 | 790.6350 | 962.0657 | 1036.2586 | 1163.9250 |
| .848520 | 547.2976 | 804.4737 | 851.8430 | 944.1405 | 1044.6527 | 1073.4547 |
| .989940 | 606.5074 | 890.2270 | 908.8350 | 931.2505 | 952.6330 | 1062.3107 |
| 1.131360 | 650.3506 | 827.2017 | 910.8182 | 923.1352 | 990.3289 | 1076.0281 |
| 1.272780 | 677.2636 | 726.6925 | 917.0427 | 918.8863 | 1031.1087 | 1097.4681 |
| 1.414200 | 686.3315 | 686.3315 | 917.5955 | 917.5955 | 1041.6263 | 1109.3698 |
| 1.514200 | 673.5552 | 673.5552 | 924.1330 | 924.1330 | 1000.2362 | 1140.3974 |
| 1.614200 | 638.6386 | 638.6386 | 927.2328 | 940.4244 | 940.4244 | 1182.5715 |
| 1.714200 | 587.5096 | 587.5096 | 840.9859 | 960.8093 | 960.8093 | 1218.2916 |
| 1.814200 | 524.3449 | 524.3449 | 743.7412 | 981.5433 | 981.5433 | 1246.5736 |
| 1.914200 | 451.6213 | 451.6213 | 636.5940 | 1000.7324 | 1000.7324 | 1268.0377 |
| 2.014200 | 371.0391 | 371.0391 | 520.6817 | 1017.4041 | 1017.4041 | 1283.6486 |
| 2.114200 | 284.0671 | 284.0671 | 397.3661 | 1030.9670 | 1030.9670 | 1294.4362 |
| 2.214200 | 192.1808 | 192.1808 | 268.2500 | 1040.9910 | 1040.9910 | 1301.3538 |
| 2.314200 | 96.9416 | 96.9416 | 135.1421 | 1047.1489 | 1047.1489 | 1305.1703 |
| 2.414190 | .0000 | .0000 | .0000 | 1049.2266 | 1049.2266 | 1306.3848 |
| 2.500793 | 70.3466 | 70.3466 | 133.9178 | 1047.3494 | 1047.3494 | 1305.6206 |
| 2.587395 | 138.8694 | 138.8694 | 265.7226 | 1041.9427 | 1041.9427 | 1303.1620 |
| 2.673998 | 203.8104 | 203.8104 | 393.3457 | 1033.6415 | 1033.6415 | 1298.5346 |
| 2.760600 | 263.5373 | 263.5373 | 514.7959 | 1023.3854 | 1023.3854 | 1291.0274 |
| 2.847203 | 316.5891 | 316.5891 | 628.1629 | 1012.2761 | 1012.2761 | 1279.8194 |
| 2.933805 | 361.7090 | 361.7090 | 731.5478 | 1001.4334 | 1001.4334 | 1264.1891 |
| 3.020408 | 397.8637 | 397.8637 | 822.8138 | 991.8757 | 991.8757 | 1243.9049 |
| 3.107010 | 424.2530 | 424.2530 | 898.8337 | 984.4392 | 984.4392 | 1220.1049 |
| 3.193613 | 440.3106 | 440.3106 | 953.4301 | 979.7332 | 979.7332 | 1197.4646 |
| 3.280215 | 445.7002 | 445.7002 | 974.6000 | 978.1239 | 978.1239 | 1187.0525 |

ÖZGEÇMİŞ

Sıtkı Duman, 03.04.1978 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini 1983-1995 yılları arasında Adapazarı'nda tamamladı. 1999 yılında Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programına girdi. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevi yürütmektedir.

