

Diffraction sur réseaux d'indice

Cours:

- Réseau mince statique
- Épaisseur critique
- Régime de Raman-Nath ; régime de Bragg
- Réseau épais statique (Modélisé comme un empilement de réseaux minces)
- Condition de Bragg
- Réseau épais statique (Résultats de la théorie des ondes couplées)
- Efficacité de diffraction, mince vs. épais
- (Accord de Bragg isotrope)
- (Accord de Bragg anisotrope)
- Diffraction sur réseau mobile (mince/épais)

Exercice 1 : Diffraction en régime de Raman-Nath (i)

On considère un réseau en air libre ($n_0 = 1$) de phase d'épaisseur infinitésimal dans le plan xy . Le pas du réseau est $\Lambda = 3 \mu\text{m}$, et l'amplitude de la modulation de phase est $\Phi_1 = 1.2 \text{ rad}$. Les lignes du réseau sont parallèles à l'axe y .

- a) Donner une expression pour le déphasage que le réseau induit sur une onde en fonction de x et y .

Une onde plane est incidente sur le réseau. Sa longueur d'onde est $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$ et elle propage dans le plan xz , à un angle $\theta_i = 20^\circ$ par rapport à l'axe z .

- b) Donner une expression pour cette onde plane.

L'onde plane est diffractée par le réseau de phase.

- c) Donner l'expression générique pour l'angle de sortie θ_p de l'onde diffractée d'ordre p .

Il ne peut, bien entendu, y avoir qu'un nombre fini d'ordres diffractés.

- d) Donner le critère que l'onde diffractée doit respecter.
e) Utiliser ce critère pour déterminer le nombre d'ordres diffractés.

Les ondes diffractées n'ont en général pas la même intensité.

- f) Rappeler l'expression générique de l'intensité de l'onde diffractée d'ordre p .
g) Donner l'intensité de chaque onde diffractée [Astuce : Utiliser le tableau dans l'Appendice].

Exercice 2 : Diffraction en régime de Raman-Nath (ii)

On souhaite fabriquer un réseau de phase qui maximise l'intensité des ondes diffractées d'ordre ± 1 dont l'angle de propagation relative est 1° .

- a) Trouver une combinaison de pas du réseau Λ , amplitude de la modulation de phase Φ_1 , et angle d'incidence θ_i qui réalise cela.

Exercice 3 : Diffraction en régime de Bragg

On considère un réseau d'indice épais avec pas du réseau $\Lambda = 50 \text{ }\mu\text{m}$. Le réseau est inscrit dans un verre dont l'indice de réfraction est $n_0 = 1.5$.

- a) Trouver l'épaisseur critique e_{crit} pour une onde optique à longueur d'onde $\lambda = 1.31 \text{ }\mu\text{m}$.
- b) Rappeler la signification de l'épaisseur critique.

On considère maintenant le même cristal, dont on suppose que l'épaisseur $d \gg e_{\text{crit}}$.

- c) Rappeler la condition que l'onde incidente et l'onde diffractée doivent remplir pour un réseau épais.
- d) Rappeler l'expression pour l'efficacité de diffraction d'un réseau épais.
- e) Si la modulation de l'indice est $n_1 = 3 \cdot 10^{-5}$, trouver l'épaisseur d à laquelle 100 % de l'onde incidente est diffractée.

Exercice 4 : Diffraction sur réseau mobile

Une onde acoustique $u(x,t) = u_0 \cos(\Omega t - k_{\text{ac}}x)$ propage dans un cristal. Une onde plane optique $E(z,t) = E_0 \cos(\omega_0 t - k_0 z)$ traverse le cristal.

- a) Quelles lois de conservation sont applicables ?
- b) Donner des expressions pour le vecteur de propagation et la fréquence de l'onde diffractée d'ordre p .

Exercice Bonus : Autour de la condition de Bragg

Utiliser les équations issues de la théorie des ondes couplées.

Si on est à la condition de Bragg, de combien doit-on changer l'angle incident avant que l'efficacité de diffraction ait diminué de 50 % (3 dB) ? Cette valeur s'appelle « l'ouverture à 3 dB » du réseau.

Si on est à la condition de Bragg, de combien doit-on changer le pas du réseau avant que l'efficacité de diffraction ait diminué de 50 % (3 dB) ? Cette valeur, exprimée comme une fréquence, s'appelle la bande-passante intrinsèque.

Table of Bessel Functions

β	$J_0(\beta)$	$J_1(\beta)$	$J_2(\beta)$	$J_3(\beta)$	$J_4(\beta)$	$J_5(\beta)$	$J_6(\beta)$	$J_7(\beta)$	$J_8(\beta)$	$J_9(\beta)$	$J_{10}(\beta)$
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.9975	0.0499	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.9900	0.0995	0.0050	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.9776	0.1483	0.0112	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.4	0.9604	0.1960	0.0197	0.0013	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.5	0.9385	0.2423	0.0306	0.0026	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.6	0.9120	0.2867	0.0437	0.0044	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.7	0.8812	0.3290	0.0588	0.0069	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.8	0.8463	0.3688	0.0758	0.0102	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.9	0.8075	0.4059	0.0946	0.0144	0.0016	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.7652	0.4401	0.1149	0.0196	0.0025	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.1	0.7196	0.4709	0.1366	0.0257	0.0036	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.2	0.6711	0.4983	0.1593	0.0329	0.0050	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.3	0.6201	0.5220	0.1830	0.0411	0.0068	0.0009	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.4	0.5669	0.5419	0.2074	0.0505	0.0091	0.0013	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.5	0.5118	0.5579	0.2321	0.0610	0.0118	0.0018	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.6	0.4554	0.5699	0.2570	0.0725	0.0150	0.0025	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.7	0.3980	0.5778	0.2817	0.0851	0.0188	0.0033	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
1.8	0.3400	0.5815	0.3061	0.0988	0.0232	0.0043	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
1.9	0.2818	0.5812	0.3299	0.1134	0.0283	0.0055	0.0009	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.2239	0.5767	0.3528	0.1289	0.0340	0.0070	0.0012	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
2.1	0.1666	0.5683	0.3746	0.1453	0.0405	0.0088	0.0016	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
2.2	0.1104	0.5560	0.3951	0.1623	0.0476	0.0109	0.0021	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
2.3	0.0555	0.5399	0.4139	0.1800	0.0556	0.0134	0.0027	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000
2.4	0.0025	0.5202	0.4310	0.1981	0.0643	0.0162	0.0034	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000
2.5	-0.0484	0.4971	0.4461	0.2166	0.0738	0.0195	0.0042	0.0008	0.0001	0.0000	0.0000
2.6	-0.0968	0.4708	0.4590	0.2353	0.0840	0.0232	0.0052	0.0010	0.0002	0.0000	0.0000
2.7	-0.1424	0.4416	0.4696	0.2540	0.0950	0.0274	0.0065	0.0013	0.0002	0.0000	0.0000
2.8	-0.1850	0.4097	0.4777	0.2727	0.1067	0.0321	0.0079	0.0016	0.0003	0.0000	0.0000
2.9	-0.2243	0.3754	0.4832	0.2911	0.1190	0.0373	0.0095	0.0020	0.0004	0.0001	0.0000
3	-0.2601	0.3391	0.4861	0.3091	0.1320	0.0430	0.0114	0.0025	0.0005	0.0001	0.0000
3.1	-0.2921	0.3009	0.4862	0.3264	0.1456	0.0493	0.0136	0.0031	0.0006	0.0001	0.0000
3.2	-0.3202	0.2613	0.4835	0.3431	0.1597	0.0562	0.0160	0.0038	0.0008	0.0001	0.0000
3.3	-0.3443	0.2207	0.4780	0.3588	0.1743	0.0637	0.0188	0.0047	0.0010	0.0002	0.0000
3.4	-0.3643	0.1792	0.4697	0.3734	0.1892	0.0718	0.0219	0.0056	0.0012	0.0002	0.0000
3.5	-0.3801	0.1374	0.4586	0.3868	0.2044	0.0804	0.0254	0.0067	0.0015	0.0003	0.0001
3.6	-0.3918	0.0955	0.4448	0.3988	0.2198	0.0897	0.0293	0.0080	0.0019	0.0004	0.0001
3.7	-0.3992	0.0538	0.4283	0.4092	0.2353	0.0995	0.0336	0.0095	0.0023	0.0005	0.0001
3.8	-0.4026	0.0128	0.4093	0.4180	0.2507	0.1098	0.0383	0.0112	0.0028	0.0006	0.0001
3.9	-0.4018	-0.0272	0.3879	0.4250	0.2661	0.1207	0.0435	0.0130	0.0034	0.0008	0.0002
4	-0.3971	-0.0660	0.3641	0.4302	0.2811	0.1321	0.0491	0.0152	0.0040	0.0009	0.0002
4.1	-0.3887	-0.1033	0.3383	0.4333	0.2958	0.1439	0.0552	0.0176	0.0048	0.0011	0.0002
4.2	-0.3766	-0.1386	0.3105	0.4344	0.3100	0.1561	0.0617	0.0202	0.0057	0.0014	0.0003
4.3	-0.3610	-0.1719	0.2811	0.4333	0.3236	0.1687	0.0688	0.0232	0.0067	0.0017	0.0004
4.4	-0.3423	-0.2028	0.2501	0.4301	0.3365	0.1816	0.0763	0.0264	0.0078	0.0020	0.0005
4.5	-0.3205	-0.2311	0.2178	0.4247	0.3484	0.1947	0.0843	0.0300	0.0091	0.0024	0.0006
4.6	-0.2961	-0.2566	0.1846	0.4171	0.3594	0.2080	0.0927	0.0340	0.0106	0.0029	0.0007
4.7	-0.2693	-0.2791	0.1506	0.4072	0.3693	0.2214	0.1017	0.0382	0.0122	0.0034	0.0008
4.8	-0.2404	-0.2985	0.1161	0.3952	0.3780	0.2347	0.1111	0.0429	0.0141	0.0040	0.0010
4.9	-0.2097	-0.3147	0.0813	0.3811	0.3853	0.2480	0.1209	0.0479	0.0161	0.0047	0.0012
5	-0.1776	-0.3276	0.0466	0.3648	0.3912	0.2611	0.1310	0.0534	0.0184	0.0055	0.0015