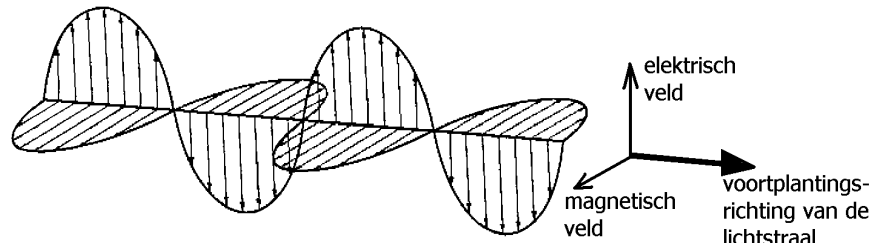


# Polarisatie

## Elektromagnetische golven

Elektromagnetische golven bestaan uit elektrische en magnetische velden die zich met grote snelheid door de ruimte verplaatsen.

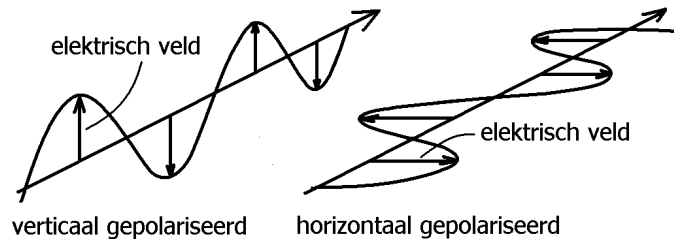
De figuur hiernaast geeft een lichtstraal (beter gezegd: lichtgolf) schematisch weer. De elektrische en magnetische velden staan loodrecht op elkaar en ook loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf. Daarom is licht een transversale golf.



## Polarisatie bij transversale golven

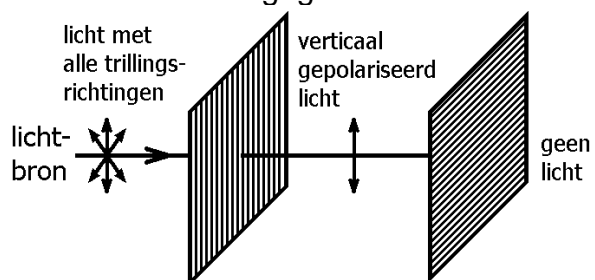
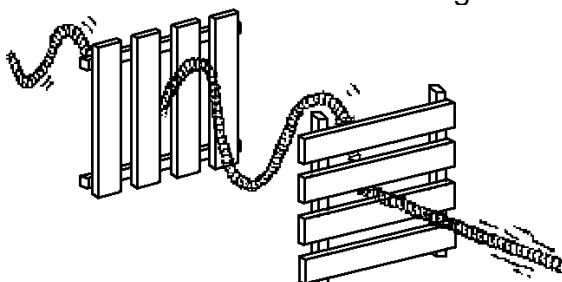
Bij transversale golven staat de trillingsrichting loodrecht op de voortplantingsrichting. Bij een gegeven voortplantingsrichting zijn er dan nog steeds veel mogelijke trillingsrichtingen, die allemaal loodrecht op de voortplantingsrichting staan. Daarom is de 'polarisatierichting' van belang. Dat is de trillingsrichting van de (transversale) golf.

De polarisatierichting wordt voornamelijk bij EM golven gebruikt. Daarbij kijkt men altijd naar het elektrische veld (dus niet naar het magnetische veld!). Dat is in de figuren hiernaast weergegeven. Zowel horizontaal als verticaal gepolariseerd licht is getekend.



## Polarisatiefilters

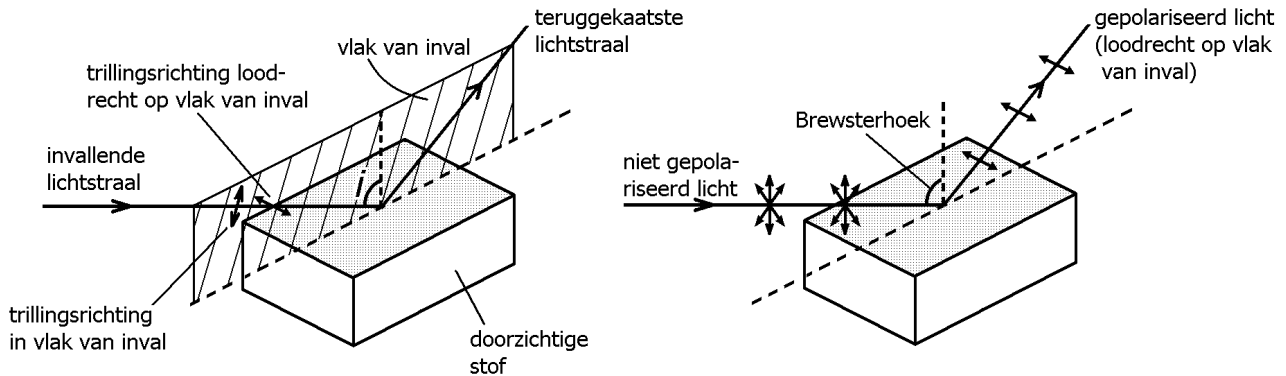
Polarisatiefilters zijn filters die een transversale golf in slechts één trillingsrichting doorlaten. In de onderstaande figuren zijn twee voorbeelden gegeven.



In de linker figuur loopt er een touw door een golf. Het tuinhekje met verticale spijlen laat de golf wel door; het tuinhekje met horizontale spijlen niet. In de rechter figuur is iets soortgelijks voor licht getekend. De lichtbron zendt ongepolariseerd licht uit. Dat wil zeggen dat alle trillingsrichtingen in het licht voorkomen. Het eerste polarisatiefilter laat alleen licht door dat in verticale richting trilt (het elektrische veld). Het tweede polarisatiefilter laat alleen licht door dat in horizontale richting trilt. Uiteindelijk komt er dus geen licht door dit tweede filter.

## Brewsterhoek

Als een lichtstraal op het oppervlak van een doorzichtige stof valt, zal de straal voor een deel worden teruggekaatst en voor een deel worden gebroken. Deze drie lichtstralen liggen in één en hetzelfde vlak: het zogenoemde vlak van inval. In de onderstaande linker figuur is dit vlak getekend. De gebroken lichtstraal is niet getekend. Elke trillingsrichting van een lichtstraal kan ontleed worden in een trillingsrichting die in het vlak van inval ligt en in een trillingsrichting die loodrecht op het vlak van inval staat. In de (linker) figuur zijn deze twee richtingen bij de invallende straal getekend.



De trillingsrichting, die in het vlak van inval ligt, wordt door het oppervlak zwakker teruggekaatst dan de trillingsrichting, die loodrecht op het vlak van inval staat. Dit geldt voor elke hoek van inval die groter is dan zeg  $20^\circ$  (bij kleinere invalshoeken worden beide trillingsrichtingen even sterk teruggekaatst). Bij één bepaalde hoek van inval, de zogenoemde Brewsterhoek, wordt de trillingsrichting, die in het vlak van inval ligt, zelfs helemaal niet teruggekaatst. De teruggekaatste lichtstraal is dan dus volledig gepolariseerd, namelijk loodrecht op het vlak van inval. In de rechter figuur is deze situatie afgebeeld.

De Brewsterhoek  $\theta$  volgt regelrecht uit de brekingsindex  $n$  van de doorzichtige stof volgens de volgende formule.

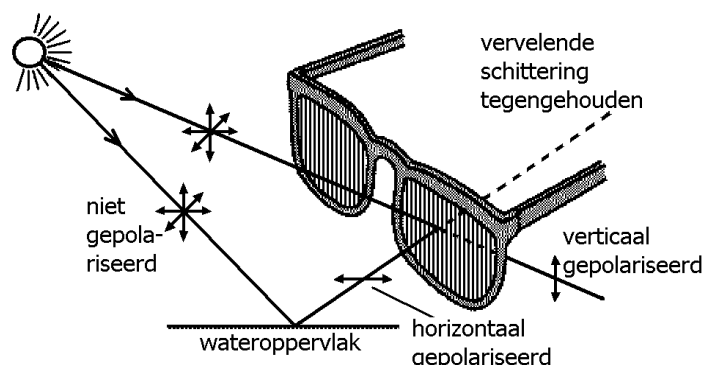
$$\tan(\theta) = n$$

Elke doorzichtige stof heeft dus zijn eigen Brewsterhoek. Neem bijvoorbeeld water. Deze stof heeft een brekingsindex van  $n = 1,33$ . Hieruit volgt voor de Brewsterhoek:  $\theta = 53^\circ$ .

## Polarisatiebril

Een toepassing van het polariserend effect van terugkaatsing is de polaroidbril. Deze haalt hinderlijke schitteringen van zonlicht bij water- en glasoppervlakken weg. Zie de figuur hiernaast.

Het oorspronkelijke zonlicht is niet gepolariseerd. Zonlicht bevat dus alle trillingsrichtingen. Het door het wateroppervlak teruggekaatste licht is echter in meer of mindere mate horizontaal gepolariseerd. Bij de Brewsterhoek is de polarisatie van het teruggekaatste licht zelfs volledig. Bij water is dat  $53^\circ$  en bij glas  $56^\circ$ .



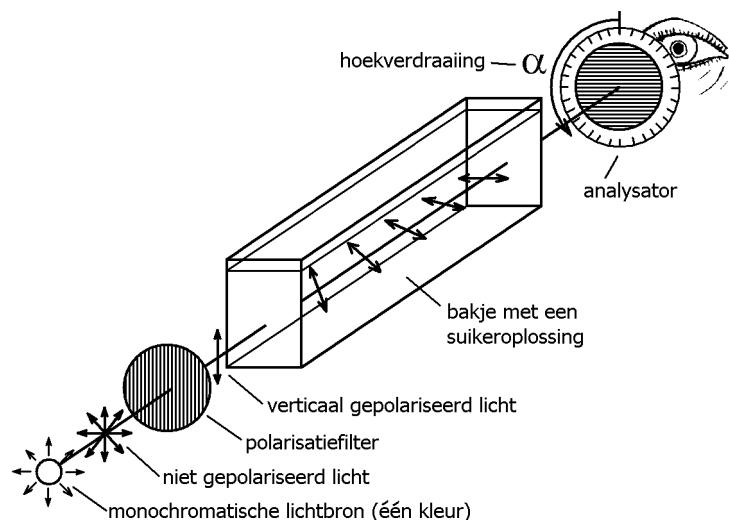
De figuur laat zien hoe een polaroidbril het teruggekaatste licht (de schittering in het water dus) onderdrukt. De glazen van de polaroidbril zijn namelijk polarisatiefilters en laten alleen de verticale trillingsrichting door.

### Draaiing van het polarisatievlak in een optisch actieve stof

Als gepolariseerd licht door een suikeroplossing heengaat, neemt men waar dat de trillingsrichting van de uitredende straal is veranderd ten opzichte van de intredende straal. De vloeistof heeft de eigenschap een draaiing van het polarisatievlak (het vlak waarin de trillingsrichting ligt) te veroorzaken. Er zijn een groot aantal organische stoffen bekend, die in vloeibare of in opgeloste toestand een draaiing van het polarisatievlak veroorzaken. Men noemt zulke stoffen 'optisch actief'. Voorbeelden van optisch actieve stoffen zijn rietsuiker, glucose, en kamfer. De optische activiteit van stoffen wordt veroorzaakt door het feit dat hun moleculen een zekere asymmetrie hebben.

Men onderscheidt links- en rechtsdraaiende stoffen. Als je tegen de voortplantingsrichting van het licht in kijkt, wordt het polarisatievlak door een linksdraaiende stof linksom gedraaid en door een rechtsdraaiende stof rechtsom gedraaid. Voorbeelden van linksdraaiende stoffen zijn cholesterol en fructose. Voorbeelden van rechtsdraaiende stoffen zijn glucose, sacharose (andere namen hiervoor zijn kristalsuiker, tafelsuiker en sucrose) en kamfer.

In de figuur hiernaast is een 'polarimeter' schematisch weergegeven. Met een polarimeter kun je de draaiing van het polarisatievlak in optisch actieve stoffen onderzoeken. Het licht van een lichtbron (die slechts één kleur uitzendt) passeert een polarisatiefilter. Vervolgens doorloopt het licht een bakje dat gevuld is met een oplossing van een optisch actieve stof in water (of een ander oplosmiddel). Denk bijvoorbeeld aan suikerwater. In de oplossing verdraait het



polarisatievlak. De uiteindelijke hoekverdraaiing  $\alpha$  kan met de analysator bepaald worden. De analysator is een draaibaar polarisatiefilter. In de beginstand staat de doorlaatrichting van de analysator loodrecht op die van het voorste polarisatiefilter. De analysator moet nu zover verdraaid worden, dat de doorgelaten lichtintensiteit opnieuw nul wordt. De hoekverdraaiing  $\alpha$  kan dan op de analysator afgelezen worden.

De hoekverdraaiing van het polarisatievlak is evenredig met de afstand  $d$  die het licht in de oplossing aflegt en (bij benadering) met de concentratie  $c$  van de optisch actieve stof in de oplossing. Wiskundig wordt dit door de volgende formule weergegeven.

$$\alpha = \alpha_0 \cdot d \cdot c$$

Hierin is  $\alpha_0$  de evenredigheidsconstante en wordt de 'specifieke rotatie' genoemd. Deze hangt natuurlijk van de optisch actieve stof af, maar ook van de golflengte van het licht. De temperatuur heeft in sommige gevallen ook een kleine invloed.

In de praktijk zijn de volgende opmerkingen van belang.

Meestal gebruikt men geel natriumlicht met een golflengte van 589 nm.

De afstand  $d$  wordt vaak in dm uitgedrukt.

Onder de concentratie verstaan we de massa van de opgeloste suiker per volume-eenheid van de oplossing (niet te verwarren met oplosmiddel). Een gangbare eenheid voor concentratie is g/mL. Dit is gelijk aan kg/L (= kg/dm<sup>3</sup>).

Bij een golflengte van 589 nm en met water als oplosmiddel geldt voor de specifieke rotatie van kristalsuiker:

$$\alpha_o = 66,4 \frac{\text{graden}}{\text{dm} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 66,4 \frac{\text{graden} \cdot \text{dm}^2}{\text{kg}}.$$

De tabellen op de volgende bladzijde komen uit de 51-ste editie van 'Handboek of Chemistry and Physics'.

**Specific rotation.**—If there are  $n$  grams of active substance in  $v$  cubic centimeters of solution and the light passes through  $l$  decimeters,  $r$  being the observed rotation in degrees, the specific rotation (for 1 centimeter),

$$[\alpha] = \frac{rv}{nl}$$

### SPECIFIC ROTATION

Specific rotation or rotatory power is given in degrees per decimeter for liquids and solutions and in degrees per millimeter for solids; + signifies right handed rotation, - left. Specific rotation varies with the wave length of light used, with temperature and, in the case of solutions, with the concentration. When sodium light is used, indicated by D in the wave length column, a value of  $\lambda = 0.5893$  may be assumed.

Optical rotatory power for a large number of organic compounds will be found in the International Critical Tables, Vol. VII; for sugars, Vol. II.

#### SOLIDS

Substance	Wave length $\mu$	Rotation deg./mm.	Substance	Wave length $\mu$	Rotation deg./mm.
Cinnabar (HgS)...	D	+32.5	Quartz (continued)	0.3609	+63.628
Lead hyposulfate...	D	5.5		0.3582	64.459
Potassium hyposulfate...	D	8.4		0.3466	69.454
Quartz.....	0.7604	12.688		0.3441	70.587
	0.7184	14.304		0.3402	72.448
	0.6867	15.746		0.3360	74.571
	0.6562	17.318		0.3286	78.579
	0.5895	21.684		0.3247	84.972
	0.5889	21.727		0.3180	80.459
	0.5269	27.543		0.2747	121.052
	0.4861	32.773		0.2571	143.266
	0.4307	42.604		0.2313	190.426
	0.4101	47.481		0.2265	201.824
	0.3968	51.193		0.2194	220.731
	0.3933	52.155		0.2143	235.972
	0.3820	55.625	Sodium bromate	D	2.8
	0.3726	58.894	Sodium chlorate	D	3.13

#### LIQUID

Liquid	Temp. °C	Wave length $\mu$	Specific rotation deg./dm
Amyl alcohol.....	20	D	- 5.7
Camphor.....	20	D	+ 70.33
Cedar oil.....	15	D	- 30 to -40
Citron oil.....	15	D	+ 62
Ethyl malate (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> .....	11	D	- 10.3 to -12.4
Menthol.....	35.2	D	- 49.7
Nicotine C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> .....	10-30	D	- 162
	20	0.6563	- 126
	20	0.5351	- 207.5
	20	0.4861	- 253.5
Turpentine C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> .....	20	D	- 37
	20	0.6563	- 29.5
	20	0.5351	- 45
	20	0.4861	- 54.5

#### SOLUTIONS

Corrections for values of the specific rotation for concentration are given in the last column.  $c$  indicates concentration in grams per 100 milliliters of solution;  $d$  indicates the concentration in grams per 100 grams of solution.

Substance	Solvent	Temp. °C	Wave length $\mu$	Specific rotation deg./dm	Correction for concentration or temperature
Albumen.....	water	20	D	- 25 to - 38	
Arabinose.....	water	20	D	- 105.0	
Camphor.....	alcohol	20	D	+ 54.4	- .135d for $d = 45-91$
	benzene	20	D	+ 56	- .166d for $d = 47-90$
	ether	20	D	+ 57	
Dextrose $d$ -glucose C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .....	water	20	D	+ 52.5	+ .025d for $d = 1-18$
			.5461	+ 62.03	+ .04257c for $c = 6-32$
					- .21t for $d = 4-36$ and $t = 10-30^{\circ}\text{C}$
Galactose.....	water	20	D	+ 83.9	+ .078d -
					- .21t for $d = 4-36$ and $t = 10-30^{\circ}\text{C}$
L-Glucose ( $\beta$ ).....	water	20	D	- 51.4	
Invert sugar C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .....	water	20	D	- 19.7	- .036c for $c = 9-35$
					$\alpha_t = \alpha_{20} + .304(t - 20) + .00165(t - 20)^2$ for $t = 3-30^{\circ}\text{C}$
Lactose.....	water	25	5461	- 21.5	
		20	D	+ 52.4	+ .072(20° - $t$ ) for $c = 5$
			.5461	+ 61.9	+ .085(20° - $t$ ) for $c = 5$
Levulose fruit sugar....	water	25	D	- 88.5	- .145d for $d = 2.6-18.6$
		25	.5461	- 105.30	

### SPECIFIC ROTATION (Continued)

#### SOLUTIONS (Continued)

Substance	Solvent	Temp. °C	Wave length $\mu$	Specific rotation deg./dm	Correction for concentration or temperature
Maltose.....	water	20	D	+ 138.48	- .01837d for $d = 5-35$
		25	5461	+ 153.75	
Mannose.....	water	20	D	+ 14.1	$c = 10.2$
Nicotine.....	water	20	D	- 77	for $d = 1-16$
	benzene	20	D	- 164	for $d = 8-100$
Potassium tartrate....	water	20	D	+ 27.14	+ .0992c - .00094c <sup>2</sup> for $c = 8-50$
Quinine sulfate.....	water	17	D	- 214	
Santonin.....	alcohol	20	D	+ 161.0	$c = 1.78$
		20	D	+ 693	$c = 4.05$
	chloroform	20	D	- 202.7	+ .309d for $d = 75-96.5$
	alcohol	20	.6867	+ 442	$c = 4.05$
			.5269	+ 991	$c = 4.05$
			.4861	+ 1323	$c = 4.05$
Sodium potassium tartrate (Rochelle salt)	water	20	D	+ 29.75	- .0078c
Sucrose (cane sugar) C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	water	20	D	+ 66.412	+ .01267d - .000376d <sup>2</sup> for $d = 0-50$
					$\alpha_t = \alpha_{20} + .00037(t - 20)$ for $t = 14-30^{\circ}\text{C}$

Sucrose dissolved in water, 20°C.

$\mu$	Spec. rot.	$\mu$	Spec. rot.	$\mu$	Spec. rot.
670.8 (Li)	+50.51	510.6 (Cu)	+90.46	435.3 (Fe)	+128.5
643.8 (Cd)	55.04	508.6 (Cd)	91.16	433.7 (Fe)	129.8
636.2 (Zn)	56.51	481.1 (Zn)	103.07	431.5 (Fe)	130.7
589.3 (Na)	66.45	480.0 (Cd)	103.62	428.2 (Fe)	133.6
578.2 (Cu)	69.10	472.2 (Zn)	107.38	427.2 (Fe)	134.2
578.0 (Hg)	69.22	468.0 (Zn)	109.49	426.1 (Fe)	134.9
570.0 (Cu)	71.24	467.8 (Cd)	109.69	419.1 (Fe)	140.0
546.1 (Hg)	78.16	438.4 (Fe)	126.5	414.4 (Fe)	144.2
521.8 (Cu)	86.21	437.6 (Fe)	127.2	388.9 (Fe)	166.7
515.3 (Cu)	88.68	435.8 (Hg)	128.49	383.3 (Fe)	171.8
				382.6 (Fe)	173.1

Substance	Solvent	°C	$\mu$	Spec. rot.	Correct.
Tartaric acid (ord.)...	water	20	D	+15.06	- .131c
		20	.6563	7.75	
		20	D	8.86	for $d = 41$
		20	.5351	9.65	
		20	.4861	9.37	
Turpentine.....	alcohol	20	D	- 37	- .00482d - .00013d <sup>2</sup> for $d = 0-90$
	benzene	20	D	- 37	- .0265d for $d = 0-91$
Xylose.....	water	20	D	+19.13	$d = 2.7$

### OPTICAL ROTATION OF ACIDS AND BASES

Optical rotation of acids and bases commonly used in the resolution of racemic substances. Compiled by F. E. Ray.

Name	Formula	Solvent	Conc. %	$\alpha_D$
Bromocamphor-sulfonic acid. K salt.....	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub> BrS	H <sub>2</sub> O	....	72.1
Camphorsulfonic acid.....	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>4</sub> S	H <sub>2</sub> O	....	23.9
Chlorocamphor-sulfonic acid.....	C <sub>10</sub> H <sub>15</sub> ClO <sub>4</sub> S	H <sub>2</sub> O	....	49.6
Codeinesulfonic acid.....	C <sub>18</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>6</sub> S	H <sub>2</sub> O	3	-190.1
Hydroxybutyric acid.....	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	3.3	- 24.8
Lactic acid.....	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	10.5	3.8
Malic acid.....	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	....	2.4
Mandelic acid.....	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	2.01	155.5
Methylene-camphor.....	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	....	127
Phenylsuccinic acid.....	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1.5	143
Tartaric acid.....	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH and H <sub>2</sub> O	....	3 to 25*
Brucine.....	C <sub>23</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	5.4	- 85
Cinchonidine.....	C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1.0	-111.0
Cinchonine.....	C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O	CHCl <sub>3</sub>	0.6	+209.6
Cocaine.....	C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>4</sub>	50% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1.1	- 35.4
Conine.....	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> N	CHCl <sub>3</sub>	4	8.6
Codeine.....	C <sub>18</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	5	-135.8
Hydraetone.....	C <sub>21</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>5</sub>	50% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0.2	115
Narcotine.....	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	9.6	- 50.6
Menthylamine.....	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> N	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	11.3	- 31.9
Narcotine.....	C <sub>20</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	CHCl <sub>3</sub>	2.6	+200.0
Quinidine.....	C <sub>20</sub> H <sub>25</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1.0	+233.6
Quinine.....	C <sub>20</sub> H <sub>25</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0.6	- 136
Thebaine.....	C <sub>15</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub>	CHCl <sub>3</sub>	5	-229.5
Strychnine.....	C <sub>21</sub> H <sub>33</sub> N <sub>7</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0.9	-128

\* Varies greatly with temperature, solvent, and conc.