

Table des matières

Avant-propos	III
1 Un peu d'histoire	1
1.1 Le premier visiteur fantôme	2
1.2 Mise en évidence du neutrino	5
1.3 Le second type de neutrino	8
1.4 Neutrinos et antineutrinos	11
1.5 Et un, et deux, et trois neutrinos	14
1.6 Le décompte des types de neutrinos	15
2 Les neutrinos et le Modèle Standard des particules	19
2.1 Développement du Modèle Standard	19
2.2 Les interactions dans le Modèle Standard	22
2.3 L'interaction électrofaible	24
2.4 L'interaction forte	29
2.5 Le couronnement de la théorie	31
2.6 Les interactions de neutrinos	33
3 Les multiples sources de neutrinos	37
3.1 Les réacteurs nucléaires	37
3.2 Les accélérateurs	39
3.3 Le Soleil	41
3.4 Les supernovae de type II	43
3.5 L'atmosphère	45
3.6 La Terre	46
3.7 Des sources extragalactiques ?	47
3.8 Le Big Bang	48
4 Comment voit-on les neutrinos ?	51
4.1 Les premières détections de neutrinos	52
4.2 Les chambres à bulles	55
4.3 Les calorimètres électroniques	57

4.4	Les détecteurs à effet Cerenkov	61
4.5	Les dispositifs naturels géants	65
4.6	Les chambres à projection temporelle	70
4.7	Les émulsions	72
4.8	Une interaction très différente	74
5	La genèse des oscillations	77
5.1	Les détections solaires radiochimiques	77
5.2	La contribution de SuperKamiokande	79
5.3	L'observatoire SNO	81
5.4	Les déficits solaires	84
5.5	Le déficit des neutrinos atmosphériques	86
5.6	Résumé des déficits de neutrinos	89
6	Des neutrinos massifs, mais si peu	93
6.1	Les mesures directes de masses	93
6.2	Phénoménologie des oscillations	96
6.3	Le tir groupé des réacteurs nucléaires	102
6.4	L'oscillation dans la matière	104
6.5	Bilan des oscillations : la masse des neutrinos	106
6.6	Neutrinos de Dirac et neutrinos de Majorana	109
7	L'astrophysique des neutrinos	113
7.1	Les géoneutrinos	114
7.2	Tomographie de la Terre en neutrinos	116
7.3	Les supernovae	117
7.4	Les neutrinos d'énergie extrême	119
7.5	Vers de nouvelles techniques de détection	121
8	Les neutrinos et l'Univers	123
8.1	Les neutrinos cosmologiques	123
8.2	L'antimatière dans l'Univers	125
8.3	Les expériences DUNE et HyperKamiokande	128
8.4	La matière sombre ; froide, chaude ou tiède ?	132
8.5	L'énergie sombre	137
9	Pourquoi des neutrinos stériles ?	141
9.1	Les anomalies encore inexplicquées	142
9.2	Les neutrinos stériles et la théorie	145
9.3	Le modèle ν MSM	146
9.4	Une matrice de mélange étendue	147

9.5	Une recherche de neutrinos lourds	148
9.6	Neutrinos lourds et masse manquante	151
10	Le futur de la physique des neutrinos	155
10.1	Les progrès à espérer prochainement	155
10.2	Les questions plus difficiles	157
	Bibliographie	161
	Liste des figures	163