De la mesure des sections efficaces dans BABAR à la prédiction de g-2 du muon



Congrès Général de la SFP Cité des Congrès, Nantes 8 juillet 2019



Georges Vasseur

Irfu, CEA, Université Paris-Saclay





représentant la collaboration BABAR

L'énigme de g-2

Moment magnétique :

 $\vec{\mu} = g \frac{q}{2m} \vec{S}$

• Moment magnétique anomale :

 $a_l = \frac{1}{2}(g_l - 2)$

- Très grande précision sur la valeur théorique et la valeur expérimentale.
- Désaccord persistant entre théorie et expérience dans le cas du muon : $a_{\mu}^{th.} = (11\ 659\ 180.2 \pm 4.9)\ 10^{-10}$ $a_{\mu}^{exp.} = (11\ 659\ 208.9 \pm 6.3)\ 10^{-10}$ $\Delta a_{\mu} = (28.7 \pm 8.0)\ 10^{-10}$





8 juillet 2019

Georges Vasseur - Congrès de la SFP 2019

EPJ C71, 1515

3

Lien avec les sections efficaces

- La correction principale et l'incertitude dominante viennent de la polarisation hadronique du vide: $a_{\mu}^{had LO} = (69)$
- Calcul à partir de données expérimentales.





 $a_{\mu}^{had \ LO} = (692.3 \pm 4.2) \ 10^{-10}$

 A basse énergie la section efficace hadronique totale est déterminée comme la somme des modes exclusifs.



Mesures récentes

- $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$
 - Phys. Re. D 96 (2017) 092009.
- $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$
 - Phys. Rev. D 97 (2018) 052007.
- e⁺ e⁻ → π⁺ π⁻ π⁰ π⁰ π⁰ , π⁺ π⁻ π⁰ π⁰ η
 Phys. Rev. D 98 (2018) 112015.



- $e^+ e^- \rightarrow K^0_{\ S} K^0_{\ L} \pi^0$, $K^0_{\ S} K^0_{\ L} \eta$, $K^0_{\ S} K^0_{\ L} \pi^0 \pi^0$ • Phys. Rev. D 95 (2017) 052001.
- $e^+ e^- \rightarrow K^0_{\ S} K^{\pm} \pi^{\mp} \pi^0$, $K^0_{\ S} K^{\pm} \pi^{\mp} \eta$ • Phys. Rev. D 95 (2017) 092005.







- Emission d'un photon par l'électron ou le positon incident : « Initial State Radiation » (ISR).
 - permet de mesurer les sections efficaces à plus basse énergie.
- Système hadronique en mouvement dos à dos avec le photon.
 - Bonne détection même au seuil.
 - Dans l'acceptance du détecteur.

Mesures de sections efficaces





Analyse e⁺ e⁻ $\rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$

- γ ISR : photon avec la plus grande énergie (excédant 3 GeV).
- Exactement 2 traces (signe opposé).
- Au moins 4 photons.
- Ajustement cinématique.
- Problème principal:
 - bruit de fond $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- 3 \pi^0$
 - mesuré sur les données.







• 32% de $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$ passe par $e^+ e^- \rightarrow \omega \pi^0$.



PRD 96 (2017) 092009

Section efficace $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$



Е _{см} (GeV)	Systématique
1.2 – 2.7	3.1 %
2.7 – 3.2	6.7 %
> 3.2	7.2 %

- Mesure de BABAR :
 - Bien plus précise.
 - Couvrant une gamme d'énergie étendue.
- Une des sections efficaces les moins connues pour (g-2).
- De 0.85 à 1.8 GeV:

 $a_{\mu}(\pi^{+}\pi^{-}2\pi^{0}) = (17.9 \pm 0.1 \pm 0.6) \ 10^{-10}$

- Précision relative de 3.2 %.
- Amélioration par un facteur 2,5.



- Contribution à g-2 (< 1.8 GeV): $a_{\mu}(\pi^{+}\pi^{-}\eta) = (1.18 \pm 0.03 \pm 0.06) 10^{-10}$
 - Précision relative de 5%, améliorée par presque un facteur 2.

Modes avec kaons

- K⁰_S dans sa désintégration en π⁺ π⁻ comme paire de traces avec un vertex déplacé.
- K⁰_L comme un dépôt d'énergie isolé dans le calorimètre.
 - Validé sur le canal $e^+ e^- \rightarrow \gamma \phi \rightarrow \gamma K^0_S K^0_L$
- K[±] en utilisant l'identification des particules chargées.





Autres modes avec deux kaons



- Mesurés pour la première fois.
- Modes avec K⁰_S K⁰_L
 PRD 95 (2017) 052001

Modes avec K⁰_S K[±]
 PRD 95 (2017) 092005

8 juillet 2019

Sections efficaces totales K K π (π)



- Toutes les mesures possibles ont été effectuées par BABAR.
- KK π représente environ 12% de la section efficace totale à E = 1.65 GeV.
- KK $\pi\pi$ représente environ 25% de la section efficace totale à E = 2 GeV.
- Précision sur (g-2) de 6%, améliorée de 20% (ΚΚπ) et d'un facteur 8 (ΚΚππ): (dans la gamme d'énergie jusqu'à 1.8 GeV)

 $a_{\mu}(KK\pi) = (2.45 \pm 0.15) \ 10^{-10}$

 $a_{\mu}(KK\pi\pi) = (0.85 \pm 0.05) \ 10^{-10}$

Résumé

- Grâce au rayonnement dans l'état initial, BABAR a réalisé des mesures précises d'annihilations e⁺e⁻ à basse énergie.
- BABAR a publié récemment les sections efficaces de plusieurs modes hadroniques $(\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0, \pi^+ \pi^- \eta)$, certaines pour la première fois (modes KKX).
- Elles contribuent à améliorer le calcul de (g-2). DHMZ 2011: $a_{\mu}^{had \ LO} = (692.3 \pm 4.2) \ 10^{-10}$ DHBZ 2017: $a_{\mu}^{had \ LO} = (693.1 \pm 3.4) \ 10^{-10}$

EPJ C71, 1515 (2011) EPJ C77, 827 (2017)

- Désaccord toujours autour de 3,5 σ.
- Nouvelle analyse $\pi^+ \pi^-$ en cours pour améliorer la prédiction.
- Nouveau résultat expérimental sur (g-2) attendu pour bientôt.