

## நியூட்ரினோவின் கதையும் நோபெல் பரிசுகளும்

- பேராசிரியர் டாக்டர் ஜி. இராஜசேகரன்\*

### முன்னுரை

சமீப காலத்தில் நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சிக்கு இரண்டு நோபெல் பரிசுகள் கிடைத்துள்ளன. 2002-இல் அமெரிக்க விஞ்ஞானி ரே டேவிஸுக்கும் ஜப்பானிய விஞ்ஞானி மாட்டோஷி கோஷிபாவுக்கும் பௌதிகத்துக்கான நோபெல் பரிசு கொடுக்கப் பட்டது. சென்ற ஆண்டு (2015), கனடா நாட்டு விஞ்ஞானி ஆர்தர் மக்டொனால்டுக்கும் ஜப்பானிய நாட்டு விஞ்ஞானி டக்காகி காஜிடாவுக்கும் மறுபடியும் நோபெல் பரிசு அளிக்கப்பட்டது. இந்த நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சியின் முக்கியத்துவத்தைப் புரிந்து கொள்வதற்குக் கொஞ்சம் நியூட்ரினோவின் கதையைக் கூறுவது அவசியம். இதுவே இக்கட்டுரையின் நோக்கம்.

### நியூட்ரினோ என்றால் என்ன?

நியூட்ரினோ என்பது ஒரு அடிப்படைத் துகள். அவற்றுக்கு மின்னேற்றம் (electric charge) கிடையாது. அவை அண்டம் முழுவதிலும் பல கிரியைகள் மூலம் மிகமிக அதிக எண்ணிக்கையில் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. ஒளியின் வேகத்தில் ஓடிக் கொண்டிருக்கின்றன. ஏறக்குறைய ஒரு இலட்சம் கோடி ( $10^{12}$ ) நியூட்ரினோக்கள் ஒவ்வொரு விநாடியும் நமது உடலுக்குள் புகுந்து வெளியேறிய வண்ணம் உள்ளன. ஜடப் பொருட்களுடன் நியூட்ரினோக்கள் எந்தவிதமான வினையும் புரிவதில்லை. ஆகவே

---

\* Institute of Mathematical Sciences, Taramani, Chennai - 600 113 & Chennai Mathematical Institute, Siruseri, Chennai - 603 103.  
email: graj@imsc.res.in

நமது உடலையும் அவை தாக்குவதில்லை. சில ஆண்டுகளுக்கு முன் வரை நியூட்ரினோக்களும் ஒளித்துகளைப் (photons) போன்று நிறை (mass) அற்றவை என்று விஞ்ஞானிகளால் கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனால் 1998-ஆம் ஆண்டு, நியூட்ரினோக்களுக்கு நிறை உண்டு என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்தக் கண்டுபிடிப்பால் பெளதிக அறிவியலிலும் பிரபஞ்ச அறிவியலிலும் புரட்சிகரமான மாற்றங்கள் ஏற்படும் என்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. நியூட்ரினோவைப் பற்றிய இன்னும் பல அரிய உண்மைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட உள்ளன.

### நியூட்ரினோவின் பூர்வ கதை

1897-ஆம் ஆண்டு கதிர்வீச்சு (radio-activity), பெக்கொரெல் (Becquerel) என்ற விஞ்ஞானியால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின், அதைப் பற்றிப் பல ஆய்வுகள் நடத்தப்பட்டன. மேரி கியூரி (Marie Curie), ரூதர்போர்டு (Rutherford) போன்ற புகழ்பெற்ற விஞ்ஞானிகள் கதிர்வீச்சைப் பற்றி பல உண்மைகளைக் கண்டறிந்தனர். அவற்றுள் பீட்டா கதிர்வீச்சு (beta radioactivity) ஒரு புதிராக அமைந்தது. பீட்டாக் கதிர்வீச்சில் வெளிப்படும் எலெக்டிரான்கள் ஒரே அளவு சக்தியுடன் வெளிவரவில்லை; வெவ்வேறு சக்தியுடன் வெளி வந்தன. சக்தியின் அழியாத் தன்மை (conservation of energy) என்ற கருத்துக்கு இது எதிராகத் தோன்றியது. 1930-ஆம் ஆண்டு பவுலி (Pauli) இந்தப் புதிரைத் தீர்ப்பதற்கு ஒரு வழி கூறினார். எலெக்டிரானுடன் கண்ணுக்குத் தெரியாத இன்னொரு புதிய அடிப்படைத் துகளும் வெளிப்பட்டுக் கொஞ்சம் சக்தியை எடுத்துச் சென்றால் சக்தியின் அழியாத் தன்மை காப்பாற்றப்படலாம் என்ற கருத்தைக் கூறினார்.

நியூட்ரினோ துகள் பவுலியின் மூளையில் கருத்தளவில் தோன்றினாலும், அத்துகளின் முழுப் பிறப்பு என்றிகோ பெர்மி (Enrico Fermi) மூலம் தான் 1932-ஆம் ஆண்டில் நிகழ்ந்தது. அவர் தான் அணுக்கருவின் பீட்டாச் சிதைவில் (beta decay) எவ்வாறு எலெக்டிரானும் நியூட்ரினோவும் சேர்ந்து பிறக்கின்றன என்பதைப் புதியதொரு முழுக் கோட்பாட்டைச் சிருஷ்டித்து

விளக்கினார். பெர்மியின் இந்தக் கோட்பாடு தான் 40 ஆண்டுகளுக்கு மேலாக அடிப்படைத் துகள்களின் சிதைவுக்கு ஆதாரக் கோட்பாடாக விளங்கியது. “நியூட்ரினோ” என்ற பெயரைச் சூட்டியவரும் பெர்மியே.

பலவிதமான அணுக்கருக்களின் பீட்டா சிதைவுகள் ஆராயப்பட்டன. அவை யாவும் பெர்மியின் கோட்பாடு சரிதான் என்பதையும் ஆகவே பவுலியின் நியூட்ரினோ உண்மையிலேயே பீட்டாச் சிதைவில் வெளிவருகின்றன என்பதையும் உறுதி செய்தன. ஆனால் கோவான் (Cowan), ரைனஸ் (Reines) என்ற இரு விஞ்ஞானிகள் இதை ஒப்புக் கொள்ளவில்லை. நியூட்ரினோ இருப்பது உண்மையானால் அதைப் பரிசோதனை மூலம் நிரூபிக்க வேண்டும் என்ற கருத்துப்படி, ஒரு முக்கியமான பரிசோதனையை 1954-இல் செய்தனர்.

அதை விவரிக்குமுன், அணுக்கருவின் பீட்டாச் சிதைவைப் பற்றிக் கொஞ்சம் விளக்குவது அவசியம்.

### பீட்டாச் சிதைவும் கோவான்-ரைனஸ் பரிசோதனையும்

ஒவ்வொரு அணுக்கருவினுள்ளும் Z புரோட்டான்களும் N நியூட்ரான்களும் உள்ளன. உதாரணமாக ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவே ஒரு புரோட்டான் தான். ஹீலியம் அணுக்கருவினுள் 2 புரோட்டான்களும் 2 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. யுரேனியம் அணுக்கருவினுள் 92 புரோட்டான்களும் 146 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. பல அணுக்கருக்கள் தாமாதவே பீட்டா சிதைவறுகின்றன. Z புரோட்டான்களையும் N நியூட்ரான்களையும் கொண்ட அணுக்கரு (Z, N), பீட்டா சிதைவுற்று எலெக்டிரானையும் ( $e^-$ ) ஒரு எதிர் நியூட்ரினோவையும் ( $\bar{\nu}_e$ ) வெளிப்படுத்தி, (Z+1) புரோட்டான்களையும் (N-1) நியூட்ரான்களையும் கொண்ட (Z+1, N-1) அணுக்கருவாக மாறும். இது படம் 1-ல் முதல் வரியில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதே போன்று நியூட்ரான் (n) சிதைவுற்று புரோட்டானாக மாறுவது இரண்டாவது வரி (2)யில் உள்ளது.

அதே எதிர் நியூட்ரினோவை இடது பக்கத்துக்குக் கொண்டு வந்தால், அது நியூட்ரினோவாக மாறும் (மூன்றாவது வரி (3)).

$(Z, N)$	$\rightarrow$	$(Z+1, N-1) + e^- + \bar{\nu}_e$ ( $\beta^-$ decay)	(1)
$n$	$\rightarrow$	$p + e^- + \bar{\nu}_e$ ( $\beta^-$ decay of $n$ )	(2)
$\nu_e + (Z, N)$	$\rightarrow$	$(Z+1, N-1) + e^-$ (inverse $\beta^-$ decay)	(3)
$(Z, N)$	$\rightarrow$	$(Z-1, N+1) + e^+ + \nu_e$ ( $\beta^+$ decay)	(4)
$\bar{\nu}_e + (Z, N)$	$\rightarrow$	$(Z-1, N+1) + e^+$ (Inverse $\beta^+$ decay)	(5)
$\bar{\nu}_e + p$	$\rightarrow$	$n + e^+$ (Cowan-Reines reaction)	(6)

படம் 1

இது நியூட்ரினோ ( $\nu_e$ ) ஒரு அணுக்கரு( $Z, N$ )-வின் மீது மோதிப் பிடிபட்டால், வேறு அணுக்கரு( $Z+1, N-1$ )வும் எலெக்டிரானும் ( $e^-$ ) உண்டாகும் கிரியையாகும். இத்தகைய கிரியைகள் மூலம் தான் பரிசோதனைகளில் நியூட்ரினோக்கள் பிடிக்கப்பட்டு நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சி நடத்தப்படுகின்றது.

நான்காவது (4) வரியில், ( $Z, N$ ) அணுக்கரு பாஸிட்ரானையும் ( $e^+$ ) நியூட்ரினோவையும் ( $\nu_e$ ) உமிழ்ந்து, ( $Z-1, N+1$ ) அணுக்கரு வாகிறது. இங்கு நியூட்ரினோ( $\nu_e$ )வை இடப்புறத்திற்கு மாற்றினால், அது எதிர் நியூட்ரினோ ( $\bar{\nu}_e$ ) ஆக மாறி, எதிர் நியூட்ரினோவின் கிரியையைக் காட்டுகிறது. [ஐந்தாவது வரி (5)]. உதாரணமாக எதிர் நியூட்ரினோவும் புரோட்டானும் மோதிக்கொண்டு பாஸிட்ரானும் நியூட்ரானுமாக மாறுகின்றன [ஆறாவது வரி (6)]. இந்தக் கிரியை மூலம் தான் கோவானும் ரைனஸும் 1954-ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரினோவும் எதிர் நியூட்ரினோவும் உண்மைத் துக்கங்கள் என நிரூபித்தார்கள்.

ஒவ்வொரு அணுஉலை(nuclear reactor)யிலிருந்தும் ஏராளமான எதிர் நியூட்ரினோக்கள் வெளிவருகின்றன. இது எப்படி? யுரேனியம் போன்ற அணுக்கருக்கள் அணுஉலையில் பிளவுபடும் போது பல கதிர்வீச்சுள்ள அணுக்கருக்கள் உண்டாகின்றன. அவற்றுள் பல பீட்டாச் சிதைவுற்று எதிர் நியூட்ரினோக்களை உமிழ்கின்றன. ஹைட்ரஜன் அதிகமுள்ள ஒரு

பொருளை கோவானும் ரைனஸும் தங்கள் (எதிர்) நியூட்ரினோ உணர்சுருவி (detector) ஆகப் பயன்படுத்தினர். ஹைட்ரஜன் அணுவின் உட்கரு புரோட்டான். அணுஉலையிலிருந்து வரும் எதிர் நியூட்ரினோ புரோட்டானுடன் வினை புரிந்தால் பாஸிட்ரானும் நியூட்ரானும் கிடைக்கும். படம் 1-ல் வரி (6)-இல் இக்கிரியை காட்டப்பட்டுள்ளது. பாஸிட்ரானும் நியூட்ரானும் தங்கள் உணர்சுருவியில் தோன்றுவதை கோவானும் ரைனஸும் நிரூபித்தனர். இவ்வாறு அணு உலையிலிருந்து எதிர் நியூட்ரினோக்கள் உண்மையிலேயே வெளிப்படுவது நிரூபிக்கப்பட்டது. 1995-ஆம் ஆண்டு ரைனஸுக்கு நோபெல் பரிசு கொடுக்கப்பட்டது. (அதற்கு முன்பே கோவான் காலமாகி விட்டார்.)

கோவான்-ரைனஸின் பரிசோதனையைப் பற்றி இரண்டு சுவாரஸ்யமான விஷயங்கள் உண்டு. அந்தக் கால கட்டத்தில் (1945-55) பல அணுகுண்டு பரிசோதனைகள் நடந்து கொண்டிருந்தன. அணுகுண்டு வெடிப்பிலும் யுரேனிய அணுக்கரு பிளவுபட்டு எதிர்நியூட்ரினோக்கள் வெளிப்படுகின்றன. அவற்றைப் பிடிக்க கோவானும் ரைனஸும் முதலில் திட்டமிட்டனர். ஆனால் அது அபாயகரமான திட்டமானதால், அனுமதி கிடைக்கவில்லை. மனம் தளராமல், அமெரிக்காவில் சாவன்னா நதி (Savanna River) அணு உலைக்குத் தங்கள் திட்டத்தை மாற்றி வெற்றியடைந்தனர். அவர்களது பரிசோதனைத் திட்டத்திற்கு வேண்டிய பொருளுதவிக்கு சிபாரிசு செய்ய நியமிக்கப்பட்ட கமிட்டிக்கு பவுலி “என்னுடைய துகளை” யாராலும் பரிசோதனையில் பிடிக்க முடியாது அதற்குப் பொருளுதவி தரவேண்டாம் என்று தந்தி மூலம் செய்தி அனுப்பினாராம். அந்தத் தந்தி வந்து சேரவில்லை. பொருளுதவி கொடுக்கப்பட்டது. பரிசோதனையில் எதிர் நியூட்ரினோ பிடிப்பட்டது.

### சூரியனும் நியூட்ரினோவும்\*

நமக்கு ஒளியும் வெப்பமும் கொடுப்பது சூரியன். சூரியன் இல்லையேல் பூமியில் உயிர் வாழ்க்கை இல்லை. கோடிக்

\* சூரிய நியூட்ரினோவைப் பற்றிய மேலும் பல விவரங்களுக்கு, Hans Bethe, the Sun and the Neutrinos, by G. Rajasekaran, Resonance, October 2005 (Vol. 10, No.10)

கணக்கான ஆண்டுகளாக எப்படி சூரியன் சக்தியை உண்டாக்கிப் பிரகாசித்துக் கொண்டிருக்கிறது? 19-ஆம் நூற்றாண்டில் விஞ்ஞானிகளுக்கு இது பெரிய புதிராக இருந்தது. இருபதாம் நூற்றாண்டில் அணுக்கருவும் அதனுள் பொதிந்து கிடக்கும் ஏராளமான சக்தியும் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்புதான் இதற்கு விடை கிடைத்தது. முதன்முதலில் விடை கொடுத்தவர் எட்டிங்டன் (Eddington) என்ற புகழ்பெற்ற வானவியல் விஞ்ஞானி. அவர் 1920-ஆம் ஆண்டில் அணுக்கருச் சேர்க்கையிலிருந்து (nuclear fusion) பிறக்கும் சக்தியால் தான் சூரியனும் மற்ற நட்சத்திரங்களும் பிரகாசித்துக் கொண்டிருக்கின்றன என்ற கருத்தைக் கூறினார். அதன் பின் அணுக்கரு இயல் வளர்ச்சியடைந்து, 1939-இல் ஹான்ஸ் பெத்தே (Hans Bethe) எனும் மாபெரும் அணுக்கருவியல் விஞ்ஞானியால் இந்தப் புதிருக்கு முழுமையான விடை கொடுக்கப்பட்டது. பெத்தே சூரியனிலும் நட்சத்திரங்களிலும் நடந்து கொண்டிருக்கும் அணுக்கருச் சேர்க்கைக் கிரியைகளின் எல்லா விபரங்களையும் ஆராய்ந்து கணக்கிட்டார்.

சங்கிலிக் கோர்வை போன்று சேர்ந்து தொடர்ந்து நிகழும் பல அணுக்கருக் கிரியைகளால் சூரியனின் உட்பாகத்தில் இந்த அணுக்கருச் சேர்க்கை நடக்கிறது. நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் (அதாவது புரோட்டான்கள்) இணைந்து ஒரு ஹீலியம் அணுக்கரு உண்டாகிறது. அப்போது இரண்டு பாஸிட்ரான்களும் இரண்டு நியூட்ரினோக்களும் 27 MeV அளவுள்ள சக்தியும் பிறக்கின்றன. இந்தச் சக்திதான் நமக்கு சூரிய ஒளியாகவும் வெப்பமாகவும் கிடைக்கிறது.



இந்த அணுக்கருச் சேர்க்கை தான் எல்லா உயிர்க்கும் இன்றியமையாத கிரியை. இந்தக் கிரியை சூரியனில் நடக்காவிடில் பூமியில் உயிரினம் இல்லை.

அணுக்கருச் சேர்க்கையால் தான் சூரியனும் அண்டத்திலுள்ள மற்ற நட்சத்திரங்களும் கோடிக்கணக்கான ஆண்டுகளாகப் பிரகாசித்துக் கொண்டிருக்கின்றன என்ற

உண்மை வெறும் கோட்பாடாகவே இருந்தது. ஆனாலும் பொதுவாக இது சரிதான் என்று விஞ்ஞானிகளால் ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டது. ஆகவே ஹான்ஸ் பெத்தேக்கு 1967-ஆம் ஆண்டு நோபெல் பரிசும் கொடுக்கப்பட்டது.

பெத்தேயின் கோட்பாட்டை நிரூபிப்பதற்கு ஒரே வழி சூரியனில் நடைபெற்றுக் கொண்டிருக்கும் கருச்சேர்க்கைக் கிரியையிலிருந்து பிறக்கும் நியூட்ரினோக்களைப் பிடிப்பது தான்.

சூரியனிலிருந்து நாம் பெறும் 27 MeV அளவுள்ள சக்திக்கு ஈடாக இரண்டு நியூட்ரினோக்களும் வந்து கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே, சூரியனிலிருந்து வரும் மொத்த சக்தியிலிருந்து எத்தனை நியூட்ரினோக்கள் வரும் என்பதைக் கணக்கிடுவது வெகு எளிது.

இந்தக் கணக்கின்படி சூரியனிலிருந்து 7000 கோடி நியூட்ரினோக்கள் பூமியின் மேற்பரப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு 1 செ.மீ x 1 செ.மீ சதுரத்திலும் ஒவ்வொரு விநாடியும் விழுந்து பூமியை ஊடுருவிச் சென்று கொண்டிருக்கின்றன.

### டேவிஸின் பரிசோதனை (Experiment of Davis)

சுமார் ஐம்பது ஆண்டுகளுக்கு முன் ரே டேவிஸ் (Ray Davis) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி சூரிய நியூட்ரினோக்கள் பூமிக்கு வருவதை நிரூபிப்பதற்குப் பரிசோதனைகள் ஆரம்பித்தார். இந்த முக்கியமான பரிசோதனையை விவரிப்பது அவசியம். அமெரிக்கா (USA)வில் தெற்கு டகோட்டா மாநிலத்திலுள்ள 1.5 கிலோமீட்டர் ஆழமான ஹோம் ஸ்டேக் தங்கச் சுரங்கத்தில் 615 டன் நிறை கொண்ட டெட்ராக்ளோரோ எதிலீன் (tetrachloroethylene) என்ற திரவம் நிரப்பப்பட்ட பெரிய பாத்திரம் வைக்கப்பட்டது. இதிலுள்ள க்ளோரைன்-37 என்ற அணுக்கரு சூரியனிலிருந்து வரும் நியூட்ரினோவைப்பிடித்து ஆர்கான்-37 என்ற அணுக்கருவாக மாறுகிறது. (படம் 1-ல் வரி (3)-ஐப் பார்க்கவும்).



இந்த ஆர்கான்-37 அணுக்களை டேவிஸ் மாதம் ஒரு முறை ஹீலியம் வாயுவை வேகமாகச் செலுத்தி வேறு பாத்திரத்திற்கு மாற்றினார். ஆர்கான்-37 கதிர்வீச்சு உடையவை. கதிர்வீச்சு மூலம் எத்தனை ஆர்கான் அணுக்கள் என்பதை டேவிஸ் எண்ணினார். ஏறக்குறைய முப்பது ஆண்டுகள் டேவிஸ் பரிசோதனையைத் தொடர்ந்து நடத்தினார். பரிசோதனையின் முடிவு:

இரண்டு நாட்களுக்கு ஒரு ஆர்கான் அணு, அதாவது இரண்டு நாட்களுக்கு ஒரு சூரிய நியூட்ரினோதான் பிடிபட்டது.

இரண்டு விஷயங்களைக் கவனிக்க வேண்டும். இரண்டு நாட்களில் கோடிக்கணக்கான சூரிய நியூட்ரினோக்கள் டேவிஸின் பாத்திரத்தின் மீது விழுந்தன. ஆனால் அவற்றில் ஒரே ஒரு நியூட்ரினோ தான் க்ளோரின்-37-வுடன் கிரியை செய்து பிடிபடுகிறது. மற்ற நியூட்ரினோக்கள் யாவும் எந்தவிதமான வினையும் புரியாமல் ஓடி விடுகின்றன. டேவிஸ் ஆர்கான்-37 அணுக்களைக் கண்டு எண்ணுவதில் எத்தகைய வித்தகர் என்பது மற்றொரு வியப்பு மிக்க விஷயம். சஹாரா பாலைவனத்திலுள்ள மணலில் ஒரு மணலைச் சிவப்பு நிறமாக்கிப் பின் பாலைவனத்தில் கலந்து விட்டால், அந்த ஒரு மணலைக் கண்டுபிடிக்க முடியுமா? டேவிஸ் செய்த சாதனை இதற்கு ஒப்பானது.

டேவிஸின் பரிசோதனையில் சூரிய நியூட்ரினோக்கள் பிடிபட்டாலும் ஒரு புதிய புதிர் தோன்றியது. அதாவது எட்டிங்டன் - பெத்தேயின் அணுச்சேர்க்கைக் கோட்பாட்டின் படி டேவிஸின் கருவியில் பிடிபடக் கூடிய நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கையும் உண்மையாகப் பிடிபட்ட எண்ணிக்கையும் சமமாக இல்லை; எண்ணிக்கையில் மூன்றில் ஒரு பாகமே கருவியில் பிடிபட்டன. இந்த வித்தியாசத்திற்கு என்ன காரணம்? அணுச்சேர்க்கைக் கோட்பாடு தவறா?

இந்த சூரிய நியூட்ரினோப் புதிர் (Solar neutrino puzzle) பல ஆண்டுகள் நீடித்தது.

இந்தப் புதிரை விடுவிக்கும் முயற்சியில் மேலும் சில பரிசோதனைகளும் தொடங்கப்பட்டன. அவற்றுள் முக்கியமானது



ஜப்பானில் கோஷிபா (Koshiha) எனும் விஞ்ஞானியின் தலைமையில் நடத்தப்பட்ட காமியோகா (Kamioka) பரிசோதனையாகும்.

### காமியோகாவும் சூப்பர் காமியோகாவும்

டேவிஸின் பரிசோதனை சற்று மறைமுகமானது. ஆனால் காமியோகா பரிசோதனை நேர்முகமானது. இதில் நீர் தான் நியூட்ரினோவைக் காணும் கருவி. சூரியனிலிருந்து வரும் நியூட்ரினோக்கள் நீரின் மூலக்கூறு(water molecule)விலுள்ள ஒரு எலெக்டிரானுடன் மோதி அதை வேகமாக ஓடச் செய்கிறது. எலெக்டிரானிடமிருந்து அப்போது செரங்கோவ் (Cerenkov) ஒளி உண்டாகிறது. இந்த செரங்கோவ் ஒளியைப் படம் பிடித்து அதன் மூலம் நியூட்ரினோ வருவது உணரப்படுகிறது. சூரியனிலிருந்து வந்த நியூட்ரினோ எலெக்டிரானை முன்னால் தள்ளுகிறது. எலெக்டிரானுடைய திசை செரங்கோவ் ஒளிப்படத்தின் மூலம் கிடைப்பதால், சூரியன் இருந்த திசையிலிருந்து வந்த நியூட்ரினோ தான் இந்த எலெக்டிரானுடைய ஓட்டத்திற்குக் காரணம் என்று அறியப்படுகிறது. ஆகவே இது டேவிஸின் பரிசோதனையை விட நேர்முகமானது.

காமியோகாவிலுள்ள ஒரு துத்தநாகச் (Zinc) சுரங்கத்தில் இந்த இராட்சஸ நீர்த்தொட்டி அமைக்கப்பட்டது. முதலில் 2000 டன் நீருடன் தொடங்கப்பட்ட பரிசோதனை, பின்னர் சூப்பர் காமியோகா என்ற பெயரில் 50,000 டன் நீருடன் இயங்கியது. சூரிய நியூட்ரினோக்களால் உந்தித் தள்ளப்பட்ட எலெக்டிரான்களின் செரங்கோவ் ஒளிப்படங்கள் சூரியனிலிருந்து நியூட்ரினோக்கள் வருவதை உறுதி செய்தன. ஆனால், அவற்றின் எண்ணிக்கை பிடிபட வேண்டிய எண்ணிக்கையில் பாதிதான். சூரிய நியூட்ரினோப் புதிர் நீடித்தது.

இந்தப் புதிரை விடுவிப்பதில் ஒரு சங்கடம் இருந்தது. பூமியின் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பின் மேல் ஒரு விநாடிக்கு 7000 கோடி நியூட்ரினோக்கள் வந்து விழுகின்றன என்று எளிதாகக் கணக்கிட முடிந்தது. ஆனால் ஹோம்ஸ்டேக்/

காமியோகா டிடெக்டர்களில் எத்தனை நியூட்ரினோக்கள் காணப்படும் என்பது நியூட்ரினோவின் சக்தியைப் பொறுத்தது. அந்த 7000 கோடி நியூட்ரினோக்கள் பெரும்பாலும் (99 சதவீதத்துக்கு மேல்) சக்தி குறைந்தவை. சக்தி அதிகம் வாய்ந்த சுமார் 0.01 சதவீத நியூட்ரினோக்கள் மட்டும் தான் மேற்கூறிய டிடெக்டர்களில் பிடிபடும். ஆனால் அவற்றின் எண்ணிக்கையைச் சரியாகக் கணக்கிடுவது எளிதான செயலல்ல. அதற்கு, சூரிய உட்பாகத்தில் நடக்கும் எல்லாவிதக் கிரியைகளின் பட்டியல் அலசப்பட வேண்டும். சூரிய பௌதிக விஞ்ஞானிகளால் இந்த விவரங்கள் முழுமையாக ஆராயப்பட்டு ஹோம்ஸ்டேக்/காமியோகா உணர் கருவிகளில் பிடிபட வேண்டிய நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கை கணிக்கப்பட்டது.

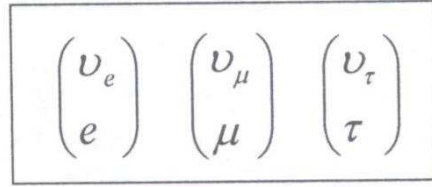
சூரியனின் மையப்பகுதியில் நடப்பவை யாவற்றையும் எந்த அளவுக்கு விஞ்ஞானிகள் அறிவர்? ஒருவேளை அவர்கள் கணக்கு தப்பாக இருக்கலாம் அல்லவா? உண்மையிலேயே உணர் கருவிகள் காட்டிய குறைந்த எண் நியூட்ரினோக்களே சூரியனிலிருந்து வெளிப்படுவதாக வைத்துக் கொண்டால் புதிர் ஒன்றும் இல்லை.

எட்டிங்டன்-பெத்தே கோட்பாடும் சூரிய பௌதிக விஞ்ஞானிகளின் கணக்கும் சரி என்று வைத்துக் கொண்டால், சூரிய உட்பாகத்திலிருந்து புறப்பட்ட நியூட்ரினோக்களுக்கு வழியில் ஏதோ நேருகிறது என்று முடிவு செய்ய வேண்டியிருக்கும். ஆகவே அவை யாவும் பூமியில் அமைக்கப்பட்ட டிடெக்டர்களுக்கு அப்படியே வந்து சேரவில்லை என்று கூறலாம். இவ்விதம் நியூட்ரினோக்களுக்கு வழியில் நேரும் நிகழ்ச்சிக்கு நியூட்ரினோவின் ஊசலாட்டம் (neutrino oscillation) என்று பெயர்.

### மூன்றுவிதமான நியூட்ரினோக்கள்

நாம் யாவருக்கும் தெரிந்த எலெக்டிரான் எல்லா அணுக்களுக்குள்ளும் உள்ள ஒரு முக்கியமான அடிப்படைத்துகள். இதனுடைய நிறை 0.5 MeV. எலெக்டிரானைப் போன்று மூயான் (Muon), டவான் (taon) என்ற பெயர் சூட்டப்பட்ட மேலும் இரண்டு

அடிப்படைத்துக்கள் உண்டு. அவற்றைக் கனமான எலெக்டிரான்கள் என்றும் அழைக்கலாம். அவற்றின் நிறை முறையே 105 MeV-யும் 1777 MeV-யும் ஆகும். மூன்று விதமான எலெக்டிரான்களுக்கும் ஜோடியாக மூன்றுவிதமான நியூட்ரினோக்களும் உண்டு. அவற்றை முறையே இ-நியூட்ரினோ ( $\nu_e$ ), மியூ-நியூட்ரினோ ( $\nu_\mu$ ), டவ்-நியூட்ரினோ ( $\nu_\tau$ ) என்று அழைக்கலாம். இந்த மூன்று ஜோடிகளும் படம் 2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. பீட்டாச் சிதைவில் வெளிப்படுவது எலெக்டிரானும் அதன் ஜோடியான இநியூட்ரினோவும். அதே போன்று மூயான் ஈடுபடும் கிரியைகளில் மியூநியூட்ரினோவும், டவானுடைய கிரியைகளில் டவ் நியூட்ரினோவும் காணப்படும்.

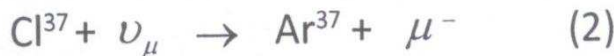


படம் 2

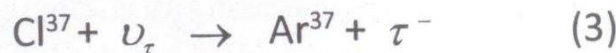
சூரியனில் நடக்கும் கருப்பிணைப்புச் சேர்க்கைக் கிரியைகளிலிருந்து வெளிப்படுவது எதிர் எலெக்டிரானும் (அதாவது பாஸிட்ரானும்) இநியூட்ரினோவும். இந்த இநியூட்ரினோ பூமியிலுள்ள டேவிஸின் டிடெக்டரில் க்ளோரின்-37 அணுவினால் பிடிபட்டு எலெக்டிரானை வெளித் தள்ளி அணுவை ஆர்கான்-37 ஆக மாற்றியது.



சூரியனிலிருந்து பூமிக்கு வரும் வழியில் இநியூட்ரினோ ஊசலாடி மியூநியூட்ரினோவாகவோ, டவ்நியூட்ரினோவாகவோ மாறிவிட்டால், டேவிஸின் டிடெக்டரில் நடக்கும் கிரியை



அல்லது



ஆக இருக்க வேண்டும். ஆனால், சூரியனிலிருந்து வெளிப்படும் இ-நியூட்ரினோக்களின் அதிகபட்ச சக்தி 14 MeV தான். ஊசலாட்டத்தில் சக்தி மாற முடியாது. ஆகவே  $\nu_\mu$  வுக்கும்  $\nu_e$  வுக்கும் அதே அதிகபட்ச சக்தி தான். அவற்றால் 105 MeV நிறை கொண்ட மூயானையோ 1777 MeV நிறை கொண்டவானையோ உண்டாக்க முடியாது. ஐன்ஸ்டீனின் சக்தி(E)க்கும் நிறை(m)க்கும் இடையே உள்ள  $E=mc^2$  என்ற சமன்பாட்டின்படி, சக்திதான் நிறையாக மாறுகிறது. ஆகவே மேலேயுள்ள கிரியை (2)-ம் கிரியை (3)-ம் நடக்காது. மியூநியூட்ரினோவோ, டவ்நியூட்ரினோவோ டேவிஸின் டிடெக்டரில் பிடிபடாது தப்பித்து விடுகின்றன. ஆகவே டேவிஸ் சூரிய நியூட்ரினோக்கள் ஊசலாடாமல் வந்து சேர்ந்த ஒரு பகுதியை மட்டுமே தன் டிடெக்டரில் பிடிக்க முடிந்தது. இவ்வாறு நியூட்ரினோவின் ஊசலாட்டம் சூரிய நியூட்ரினோப் புதிரை விடுவித்தது.

காமியோகா நியூட்ரினோ டிடெக்டரில் நியூட்ரினோ எலெக்டிரான் மீது மோதி நியூட்ரினோவாகவே இருக்கிறது:



இந்தக் கிரியையில் நியூட்ரினோ, இநியூட்ரினோவாகவோ, மியூநியூட்ரினோவாகவோ, டவ்நியூட்ரினோவாகவோ இருக்கலாம். மூன்று விதமான நியூட்ரினோக்களாலும் எலெக்டிரானை உந்தித் தள்ள முடியும். பின், ஏன் காமியோகாவிலும் எல்லா சூரிய நியூட்ரினோக்களையும் காண முடியவில்லை? அதற்குக் காரணம் மியூநியூட்ரினோவாலும் டவ்நியூட்ரினோவாலும் எலெக்டிரானை உந்தித் தள்ளும் ஆற்றல் இநியூட்ரினோவின் ஆற்றலைவிடக் குறைவாக இருப்பதால்தான்.

“பசுவும் புல்லும்” என்றொரு கதை உண்டு. ஒரு ஓவியர் இந்தத் தலைப்புடன் ஒரு ஓவியத்தைக் கண்காட்சி சாலையில் மாட்டி வைத்திருந்தார். ஆனால் அந்த ஓவியத்தில் தலைப்பைத் தவிர வேறு ஒன்றும் இல்லை. “புல் எங்கே” என்று கேட்ட போது பசு புல்லைத் தின்று விட்டது என்று பதிலளித்தார். “பசு எங்கே”

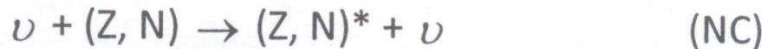
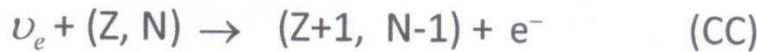
என்று கேட்டபோது “புல்லைத் தின்றுவிட்டு பசு எப்படி அங்கே நிற்கும்? போய்விட்டது” என்றாராம்.

நமது நியூட்ரினோ கதையும் இதுவரையில் இதுமாதிரி தான் உள்ளது. எட்டிங்டன்-பெத்தேயின் அணுக்கருச் சேர்க்கைக் கிரியைகளால் சூரியன் பிரகாசிக்கிறது என்ற கோட்பாட்டை நிரூபிப்பதற்கு சூரிய நியூட்ரினோக்களைப் பரிசோதனைகளில் பிடித்துக் காட்ட வேண்டும் என்று கூறினோம். டேவிஸும் கோஷிபாவும் நியூட்ரினோக்களைப் பிடிப்பதில் வெற்றி கண்டார்கள். ஆனால் அந்த நியூட்ரினோக்களின் ஒரு பகுதியையே அவர்கள் பிடித்தார்கள். மற்றப் பகுதி எங்கே என்று கேட்டால், ஊசலாடிப் போய் விட்டன என்ற பதில் கொடுத்திருக்கிறோம்.

அறிவியலில் இந்த விடை போதாது. இநியூட்ரினோக்கள் ஊசலாடி மியூநியூட்ரினோக்களாகவோ டவ்நியூட்ரினோக்களாகவோ மாறிவிட்டால் அவற்றையும் பிடித்துக் காட்ட வேண்டும். அதிருஷ்டவசமாக அதைச் செய்ய முடிந்தது. அதுதான் “ஒன்றிலேயே இரண்டு பரிசோதனை (Two-in-one experiment) என்பது.

**ஒன்றிலே இரண்டு (SNO பரிசோதனை)**

நாம் இதுவரை விவரித்த மென்வினைக் கிரியைகள் யாவும் மின்னேற்ற மாற்றமுள்ள மென்வினைக் கிரியைகளாகும். [Charge Changing (CC) weak interaction] இன்னுமொரு விதமான மென்வினைக் கிரியையும் உண்டு என்று 1972-ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதற்கு மின்னேற்றமற்ற மென்வினைக் கிரியை [Charge Non-changing or Neutral Current (NC) weak interaction] என்று பெயர். இந்த இரண்டு விதமான கிரியைகளும் கீழே காட்டப்பட்டுள்ளன.



CC கிரியையில் இநியூட்ரினோ எலெக்டிரானாக மாறுகிறது. நியூட்ரினோவுக்கு மின்னேற்றம் இல்லை. எலெக்டிரானுக்கு மின்னேற்றம் உண்டு. ஆகவே துகள்களின் மின்னேற்றம்

மாறுதலை அடைகிறது. அணுக்கருவும் (Z, N) இலிருந்து (Z+1, N-1)க்கு மாறி மின்னேற்ற மாறுதலை அடைகிறது. ஆனால் NC கிரியையில் நியூட்ரினோ, நியூட்ரினோவாகவே வெளியேறுகிறது. (Z, N) அணுக்கருவும் மின்னேற்றம் மாறாமலேயே உயர்சக்தி நிலைக்குத் (higher energy state) தள்ளப்படலாம், அல்லது அதன் பாகங்கள் (புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும்) சிதறி வெளிப்படலாம். இந்த நிலைகளை (Z, N)\* என்று குறித்திருக்கிறோம். முக்கியமாகக் கவனிக்க வேண்டியது என்னவென்றால் சக்தி குறைந்த (14 MeV-விடக் குறைந்த) மியூநியூட்ரினோவினாலும் டவ்நியூட்ரினோவினாலும் அவற்றிற்கேற்ற CC கிரியையை நடத்த முடியாது. ஆனால் NC கிரியையில் அதிக நிறையுள்ள மூயானையோ டவ்வானையோ உண்டாக்க வேண்டியதில்லையாதலால், NC கிரியையை அவற்றால் நடத்த இயலும். ஆகவே ஒரே டிடெக்டரில் நியூட்ரினோக்களை CC கிரியையும் NC கிரியையும் செய்ய வைக்க முடியுமானால், NC கிரியைகளின் எண்ணிக்கை CC கிரியைகளின் எண்ணிக்கையை விட அதிகமாக இருப்பது நிரூபிக்கப்பட்டால், அதுவே ஊசலாட்டத்தின் நிரூபணமாகும். இதுதான் “ஒன்றிலே இரண்டு பரிசோதனை”.

இத்தகைய பரிசோதனைக்கு அமெரிக்காவில் பணிபுரியும் சந்திப் பக்வாசா, (2011ஆம் ஆண்டு மறைந்த) ராஜு ராகவன் என்ற இரு இந்திய விஞ்ஞானிகள் முதன்முதலில் திட்டமிட்டனர். போரான் (Boron) அணுக்கருவை டிடெக்டரில் பயன்படுத்த அவர்கள் தீட்டிய திட்டம் நிறைவேற்றப்படவில்லை. டியூட்டிரியம் (Deuterium) என்ற கன ஹைட்ரஜன் (Heavy Hydrogen) அணுக்கருவைப் பயன்படுத்த சென் (Chen) என்ற சீன நாட்டு விஞ்ஞானி தீட்டிய திட்டம் கனடாவிலுள்ள சட்பரி நியூட்ரினோ ஆய்வகத்தில் [Sudbury Neutrino Observatory (SNO)] நிறைவேற்றப்பட்டது. கனடாவின் அணுசக்திக் கமிஷனிடமிருந்து (Atomic Energy Commission, Canada) 1000 டன் கனநீர் (Heavy Water) கடனாக வாங்கப்பட்டது.

நீர், H<sub>2</sub>O என்னும் மூலக்கூறுகளால் ஆனது. அது போல் கனநீர், D<sub>2</sub>O மூலக்கூறுகளால் ஆனது. D என்று குறிக்கப்பட்ட

கன ஹைட்ரஜனின் அணுக்கருவில் ஒரு புரோட்டானும் (p) ஒரு நியூட்ரானும் (n) உள்ளன. நியூட்ரினோ D-யோடு மோதி உண்டாக்கக் கூடிய கிரியைகள்:

$$\nu_e + D \rightarrow p + p + e^- \quad (CC)$$

$$\nu + D \rightarrow p + n + \nu \quad (NC)$$

CC கிரியையில் D-யில் உள்ள நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறி D உடைந்து இரு புரோட்டான்களாகிறது. NC கிரியையில் எந்த மின்னேற்ற மாற்றமும் துகள் மாற்றமும் இல்லை. D உடைந்து ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானுமாகிறது.

பூமியின் கீழே 2 கிலோமீட்டர் ஆழத்திலுள்ள சட்பரி சுரங்கத்தில் ஒரு பெரிய குடுவையில் சுத்தப்படுத்தப்பட்ட கனநீர் வைக்கப்பட்டது. CC கிரியைகளைக் காண காமியோகாவில் போல் எலெக்டிரான்கள் உமிழும் செரங்கோவ் ஒளியைப் படம் பிடித்தார்கள். NC கிரியைகளைக் காண்பது எளிதான செயலல்ல. அந்தக் கிரியையில் வெளிவரும் நியூட்ரான்களைக் காண வேண்டும். பல இடையூறுகளைக் கடந்து, SNO விஞ்ஞானிகள் அதில் வெற்றி கண்டார்கள்.

2002-ஆம் ஆண்டிலேயே SNO வெளியிட்ட முடிவு சூரிய நியூட்ரினோ அறிவியல் வரலாற்றின் முக்கியமான மைல்கல்லாக அமைந்தது. அம்முடிவுகளின் படி ஒரு விநாடிக்கு ஒரு சதுர சென்டி மீட்டர் பரப்பளவில் விழும் நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கை (ஒரு குறிப்பிட்ட சக்திக்கு மேலேயுள்ள நியூட்ரினோக்கள் மட்டுமே):

CC கிரியைகளின் மூலம் :  $1.76 \pm 0.11$  மில்லியன்

NC கிரியைகளின் மூலம் :  $5.09 \pm 0.65$  மில்லியன்

ஆகவே, ஏற்கனவே விளக்கியபடி, சூரியனிலிருந்து வரும் மொத்த  $(\nu_e + \nu_\mu + \nu_\tau)$  நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கை  $5.09 \pm 0.65$  மில்லியன். அவற்றுள் இநியூட்ரினோக்களின்  $(\nu_e)$  எண்ணிக்கை  $1.76 \pm 0.11$  மில்லியன். இவ்விரண்டு எண்களின் வித்தியாசமான  $3.33 \pm 0.66$  மில்லியன் ஊசலாடி மாறிய  $(\nu_\mu + \nu_\tau)$

நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கையாகும். நியூட்ரினோக்களின் ஊசலாட்டம் இதிலிருந்து நிரூபணமாகிறது. அது மட்டுமல்ல. எட்டிங்டன்-பெத்தேயின் கோட்பாட்டின்படி சூரிய நியூட்ரினோக்கள் எண்ணிக்கை (அதிக சக்தி வாய்ந்தவை மட்டும்)  $5.05 \pm 0.40$  ஆகக் கணிக்கப்பட்டிருந்தது. SNO-வின் மொத்த நியூட்ரினோ எண்ணிக்கையான  $5.09 \pm 0.65$ -வுடன் இது ஒத்திருக்கிறது. ஆகவே, எட்டிங்டன்-பெத்தேயின் கோட்பாட்டுக் கணிப்பும் நிரூபிக்கப்படுகிறது.

ஒரே வெட்டில் இரண்டு தேங்காய்கள்! SNO-வின் பரிசோதனையானது சூரிய சக்தி பிறப்புக் கோட்பாட்டையும் நியூட்ரினோவின் ஊசலாட்டத்தையும் நிரூபித்து விட்டது. இது ஒரு மகத்தான சாதனை.

இந்தக் கதை போதிப்பது என்ன? சூரிய சக்திக்குக் காரணமான அணுச்சேர்க்கைக் கோட்பாடு நிரூபிக்கப்பட வேண்டும் என்று நாம் கூறினோம். இந்த நிரூபணம் நீதிமன்றங்களில் நடக்கும் நிரூபணத்திலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டது. நீதிமன்ற நடவடிக்கை வேறு; அறிவியல் முன்னேற்றம் வேறு. சூரிய நியூட்ரினோக்களைப் பரிசோதனையில் கண்டு, கோட்பாட்ட நிரூபிக்க முயன்ற விஞ்ஞானிகள் ஒரு அடிப்படை உண்மையைக் கண்டுபிடித்தார்கள். அது எந்த உண்மை? நியூட்ரினோக்களுக்கு நிறை உண்டு என்ற உண்மை. அதுவரை, நியூட்ரினோக்கள் ஒளித்துக்களைப் (photons) போன்று நிறையற்றவை என்று கருதப்பட்டு வந்தது. நியூட்ரினோக்களுக்கு நிறை இருந்தால்தான் ஊசலாட்டம் நடைபெறும்.

நியூட்ரினோ ஊசலாடலைப் புரிந்து கொள்ள நியூட்ரினோவை ஒரு துகளாகக் கருதாமல் அதை ஒரு அலை(wave)யாகப் பாவிக்க வேண்டும். குவாண்டம் இயலின் (quantum mechanics) படி எந்த ஒரு அடிப்படைத் துகளுக்கும் துகள்த் தன்மையும் அலைத்தன்மையும் உண்டு. நியூட்ரினோவின் ஊசலாடல் அதன் அலைத் தன்மையால் உண்டாகிறது.

மூன்றுவிதமான நியூட்ரினோக்களும் நிறையற்றவை யாயிருந்தாலோ, அல்லது நிறைகள் சமமாக இருந்தாலோ,



ஊசலாட்டம் ஏற்படாது. ஊசலாட்டம் நிரூபிக்கப்பட்டுவிட்டதால், நியூட்ரினோக்களுக்கு நிறை உண்டு என்பதும், வெவ்வேறு விதமான நியூட்ரினோக்களுக்கிடையே நிறை வேறுபாடு உண்டு என்பதும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளன.

மூன்று வகையான நியூட்ரினோக்களுக்கிடையே உண்டாகும் ஊசலாட்டத்தை முழுமையாக அறிந்து கொள்ள சூரிய நியூட்ரினோக்கள் போதாது. காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்களையும் ஆராய வேண்டும். ஆகவே அந்தக் கதையை விவரிப்போம்.

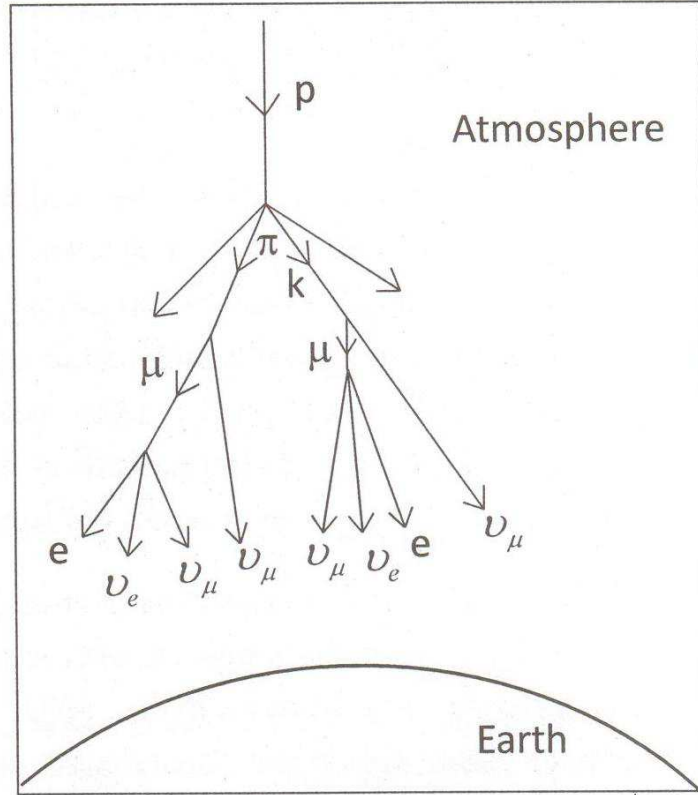
### காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்கள்

காஸ்மிக் கதிர்கள் (Cosmic rays) 1900-ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அவை பெரும்பாலும் மிகச் சக்தி வாய்ந்த புரோட்டான்கள். பிரபஞ்சத்தின் பல பாகங்களில் உற்பத்தியாகி எங்கும் ஓடிக் கொண்டிருக்கின்றன. பூமியின் மீதும் விழுகின்றன. பூமியைச் சுற்றிக் காற்று மண்டலம் இருப்பதால், இந்தப் புரோட்டான்கள் காற்று மண்டலத்திலுள்ள நைட்ரஜன் அல்லது ஆக்சிஜன் அணுக்களின் உட்கருவைத் தாக்கிப் பலவிதமான அடிப்படைத் துகள்களை உண்டாக்குகின்றன. இவை யாவும் பூமியின் மேல்தான் வந்து விழுகின்றன. இந்தக் காஸ்மிக் கதிர் மழையைப் படம் 3-ல் பார்க்கலாம். பலவிதமான அடிப்படைத் துகள்கள் [மூயான் ( $\mu$ ), பையான் ( $\pi$ ), கேயான் ( $k$ )] காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சியில் தான் முதன்முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவை சிதைந்து இறுதியில் பல நியூட்ரினோக்களாக மாறுவதைப் படத்தில் பார்க்கலாம். இவற்றை காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்கள் என்று அழைக்கலாம்; காற்று மண்டல நியூட்ரினோக்கள் (atmospheric neutrinos) என்றும் அழைக்கிறார்கள்.

மும்பையிலுள்ள டாட்டா அடிப்படை ஆராய்ச்சி நிலையத்தை (Tata Institute of Fundamental Research) நிறுவிய ஹோமி ஜஹாங்கீர் பாபா\* காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சியில் ஏற்கனவே மிக்க

\* ஹோமி பாபாவைப் பற்றிய விரிவான கட்டுரையை முழுமை அறிவியல் உதயம், மலர் 8 இதழ் 12 (டிசம்பர் 2015)-இல் பார்க்கவும்.

புகழ் பெற்றிருந்தார். அவர் 1950-இல் ஆராய்ச்சியாளர் ஸ்ரீ கண்டனிடம் ஒரு ஆராய்ச்சி யோசனையைக் கூறினார். காஸ்மிக் கதிர்களை உணரும் கருவியை (detector) எடுத்துக் கொண்டு கோலார் தங்கவயல்சுரங்கத்துக்குள் சென்று காஸ்மிக் கதிர்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியை மேலும் தொடர வேண்டும் என்பதே அந்த யோசனை. பரிசோதனைகள் மூலம் பூமியின் கீழே ஒன்று அல்லது இரண்டு கிலோமீட்டர் ஆழத்திற்கு எவ்வளவு காஸ்மிக் கதிர்கள் வருகின்றன. அவ்வளவு ஆழத்திற்குப் பாறைகளை ஊடுருவிச் செல்லும் துகள்கள் எல்லாம் மூயான்கள்தானா. வேறு எந்தத் துகள்களும் உண்டா என்ற விபரத்தை எல்லாம் அறியும்படி பாபா கூறினார்.



படம் 3

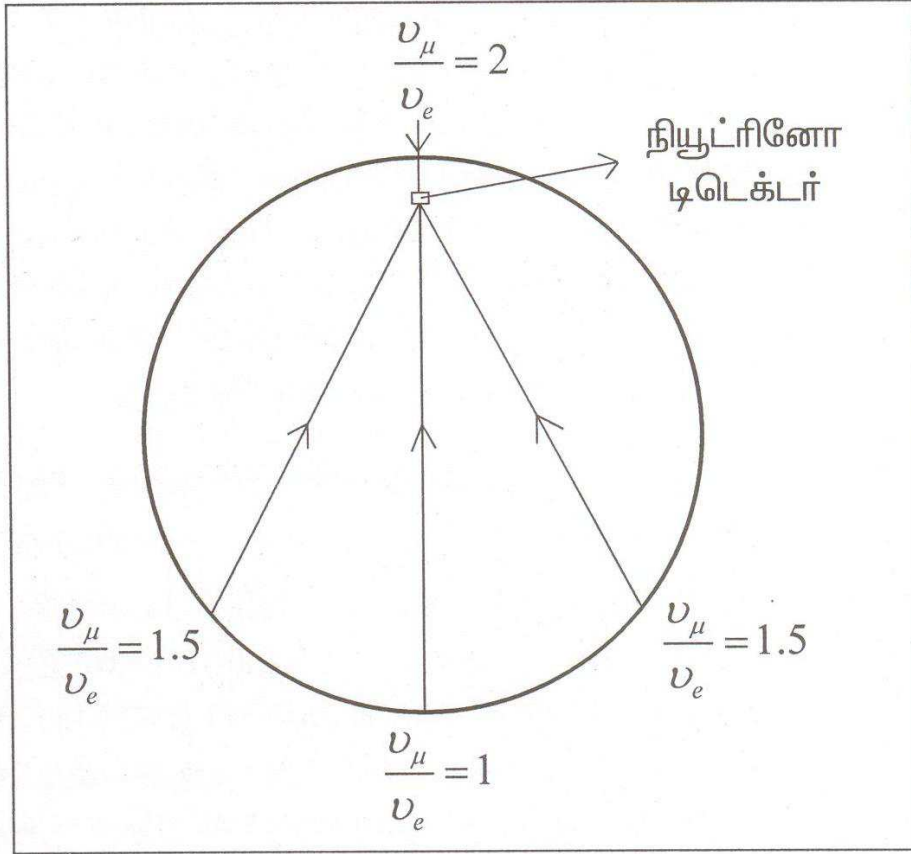
ஸ்ரீகண்டனும் ரமணமூர்த்தியும் நாரணனும் பாபாவின் யோசனைப்படி கோலார் தங்கவயல் சுரங்கத்தில் பரிசோதனையைத் தொடங்கினார். இந்தப் பரிசோதனை இருபது ஆண்டுகளுக்கு மேலாக நடந்தது. மூயான்களின் எண்ணிக்கை, ஆழத்திற்குச் செல்லச் செல்ல எந்த அளவுக்குக் குறைகிறது

என்று ஆராய்ந்தறியப்பட்டது. பரிசோதனை மேலும் மேலும் ஆழத்தில் நீடிக்கப்பட்ட போது, ஒரு குறிப்பிட்ட ஆழத்தில் மூயான் எண்ணிக்கை பூஜ்யமாகி விட்டது. அந்த ஆழத்தில் (குறைமட்டத்திலிருந்து 2 கிலோமீட்டரில்) எல்லா மூயான்களும் மேலேயுள்ள பாறையால் தடுக்கப்படுகின்றன. ஆனால் நியூட்ரினோக்கள் தடுக்கப்படுவதில்லை. ஆகவே, அந்த ஆழத்தில் வேறு எந்தத் துகள்களின் இடையூறின்றி, துகள் உணர் கருவியால் (detector) நியூட்ரினோக்களைக் காண முடியும். பரிசோதனை யாளர்கள் மேற்கொண்டு நடத்திய பரிசோதனைகளில் இந்த நியூட்ரினோக்களைக் கண்டார்கள். இது நடந்தது 1965-இல். இதுதான் காஸ்மிக் கதிர்களிலிருந்து பிறந்த நியூட்ரினோக்களை உலகில் முதன்முதலாகக் கண்டறிந்த பரிசோதனையாகும். இப்பெருமை டாட்டா இன்ஸ்டிடியூட்டுக்குச் சேரும். (2015 இதன் பொன்விழா ஆண்டு)

இந்தியாவில் தொடங்கிய காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சி பின்னர் ஜப்பானில் முன்னேற்றமடைந்து ஜப்பானிய விஞ்ஞானிகளுக்கு வெற்றியைக் கொடுத்தது. ஏற்கனவே காமியோகா பரிசோதனையும் சூப்பர் காமியோகா பரிசோதனையும் எவ்வாறு சூரிய நியூட்ரினோவைப் பிடிப்பதில் வெற்றி கண்டன என்பதைக் கூறினோம். அதே பரிசோதனைகள் காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்களையும் பிடித்து ஆராய்ச்சி செய்தன.

காஸ்மிக் கதிர்களிலிருந்து பிறந்த பையான் ( $\pi$ ) சிதைவுற்று ஒரு மூயானும் மியூநியூட்ரினோவும் உண்டாகின்றன. பின் மூயானும் சிதைவுற்று எலெக்டிரானும், இநியூட்ரினோவும், மியூநியூட்ரினோவும் கிடைக்கின்றன. கேயானுடைய ( $k$ ) சிதைவும் இதே மாதிரியே நடக்கிறது. ஆகவே படம் 3-இல் காட்டியபடி மியூநியூட்ரினோக்கள் ( $\nu_\mu$ ) இநியூட்ரினோக்களை ( $\nu_e$ ) விட இரு மடங்கு எண்ணிக்கையுடன் பூமிக்கு வருகின்றன. பரிசோதனையில் இந்த இருவிதமான நியூட்ரினோக்களையும் தனித்தனியாக இனம் காண முடிந்தது. காஸ்மிக் கதிர்களின் சக்தி மிக அதிகமாதலால், அவற்றிலிருந்து பிறந்த மியூ நியூட்ரினோக்கள் மிக அதிக சக்தியைக் கொண்டுள்ளன. ஆகவே

அவற்றால் 105 MeV நிறையையுடைய மூயானை உண்டாக்க முடியும். நாம் ஏற்கனவே கூறியபடி, மியூநியூட்ரினோக்கள் மூயான்களையும் இநியூட்ரினோக்கள் எலெக்டிரான்களையும் உண்டாக்கும். இந்த மூயான்களும் எலெக்டிரான்களும் வெவ்வேறு விதமான செரங்கோவ் ஒளியைத் தருவதால், சூப்பர் காமியோகா பரிசோதனையில் காஸ்மிக் கதிர்களிலிருந்து பிறந்த மியூ நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கையையும் இநியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கையையும் தனித்தனியாக அளவிட முடிந்தது.



படம் 4

சூப்பர் காமியோகா டிடெக்டரும் நியூட்ரினோக்கள் வரும் திசைகளும் படம் 4-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. வானவெளியும் காற்று மண்டலமும் பூமியைச் சுற்றி எல்லாத் திசைகளிலும் பரந்துள்ளன. மேலிருந்து கீழ் வரும் நியூட்ரினோக்களுள் மியூநியூட்ரினோக்கள் இநியூட்ரினோக்களை விட இரு மடங்கு அதிக எண்ணிக்கையுடன் வருவது பரிசோதனையில்

நிரூபிக்கப்பட்டது. ஆனால் மற்றத் திசைகளில் இந்த விகிதம் இரண்டிலிருந்து படிப்படியாகக் குறைந்து கொண்டே வந்து, கீழிருந்து மேல் வரும் நியூட்ரினோக்களுக்கு விகிதம் ஒன்றாக மாறியது. அதாவது, பாதி மியூநியூட்ரினோக்களைக் காணோம். ஏன்?

காற்று மண்டலத்தின் அதிக பட்ச உயரம் 20 கிலோமீட்டர். ஆகவே மேலிருந்து வரும் நியூட்ரினோக்கள் சில கிலோமீட்டர் தொலைவே பயணித்து ஊசலாடாமல் டிடெக்டருக்கு வருகின்றன. கீழிருந்து மேல் வரும் மியூ நியூட்ரினோக்கள் பூமியின் விட்டமான 13,000 கிலோ மீட்டர் தொலைவைக் கடந்து வருவதால், ஊசலாடி, அவற்றுள் பாதி டவ்நியூட்ரினோவாக மாறிவிடுகின்றன. காஸ்மிக் நியூட்ரினோவின் சக்தி அதிகமாக இருந்தாலும், 1777 MeV நிறையைக் கொண்ட டவானைப் படைக்குமளவு சக்தி டவ்நியூட்ரினோவுக்கு இல்லை. ஆகவே அது டிடெக்டரில் பிடிபடவில்லை. இவ்வாறு சூப்பர் காமியோகா காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோவின் ஊசலாட்டத்தைக் கண்டுபிடித்தது.

**நோவல் பரிசுகள் : சூரிய நியூட்ரினோக்களும் காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்களும்**

டேவிஸின் சூரிய நியூட்ரினோ பரிசோதனையில் தான் முதன்முதலில் நியூட்ரினோ ஊசலாட்டமும் நியூட்ரினோ நிறையும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன என்று கூறலாம். ஆனால் இவற்றை அந்தப் பரிசோதனையின் முடிவை வைத்து ஆணித்தரமான உண்மைகளாக ஏற்றுக் கொள்ள முடியவில்லை. ஏனெனில், நாம் ஏற்கனவே கூறியபடி, சக்தி அதிகமான சூரிய நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கை சரியாகக் கணக்கிடப்பட்டதா என்ற கேள்வியும் ஐயப்பாடும் இருந்தன. இந்த ஐயம் SNO-வின் “ஒன்றிலே இரண்டு” பரிசோதனை மூலம் தான் முழுமையாகத் தீர்ந்தது. ஆனால் SNO-வின் முடிவுகள் 2002-ஆம் ஆண்டில் வெளிவருவதற்குப் பல ஆண்டுகள் முன்பே, சூப்பர் காமியோகாவின் காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ பற்றிய முடிவுகள் 1998-ஆம் ஆண்டில் வெளிவந்து விட்டன. மியூநியூட்ரினோ-இநியூட்ரினோ விகிதம் இரண்டிலிருந்து

குறைந்து கீழேயிருந்து மேலே வரும் நியூட்ரினோக்களுக்கு இந்த விகிதம் ஒன்றாக மாறுகிறது என்ற முடிவு காஸ்மிக் கதிர்களால் உண்டாகும் மொத்த நியூட்ரினோக்களின் எண்ணிக்கைக் கணக்கின் ஐயப்பாடுகளுக்கு அப்பால் சென்ற ஆணித்தரமான முடிவாகக் கருதப்பட்டது. ஆகவே, நியூட்ரினோ ஊசலாட்டமும் நியூட்ரினோ நிறையும் 1998-ல் காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சி மூலம் தான் சூப்பர் காமியோகா பரிசோதனையில் உறுதியான உண்மைகளாக முதலில் நிரூபிக்கப்பட்டன. நியூட்ரினோ ஊசலாட்டக் கண்டுபிடிப்பில் காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சி சூரிய நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சியை முந்திக் கொண்டது எனலாம்.

சூரிய நியூட்ரினோக்களை முதன்முதலில் தன் டிடெக்டரில் பிடித்து 30 ஆண்டுகளுக்கு மேலாக ஆராய்ச்சி செய்த ரே டேவிஸுக்கும், சூரிய நியூட்ரினோ, காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ, நட்சத்திர வெடிப்பில் (Supernova) இருந்து பிறந்த நியூட்ரினோ-இவை யாவற்றையும் பிடித்த சூப்பர் காமியோகா பரிசோதனையின் அப்போதைய தலைவரான மாட்டோஷி கோஷிபாவுக்கும் 2002-இல் நோபெல் பரிசு கொடுக்கப்பட்டது. சூரிய நியூட்ரினோக்களின் ஊசலாட்டத்தை உறுதியாக நிரூபித்த SNO-வின் தலைமை விஞ்ஞானியான ஆர்தர் மக்டொனால்டுக்கும் காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோக்களின் ஊசலாட்டத்தைக் கண்டுபிடித்த சூப்பர் காமியோகாவின் தலைமை விஞ்ஞானியான டக்காகி காஜிட்டாவுக்கும் 2015-ம் ஆண்டில் நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

### தொடரும் கதை

நியூட்ரினோவின் கதையில் இன்னும் பல விஷயங்கள் உண்டு. அவற்றை இங்கு சுருக்கமாகக் கூறுவோம்.

மின் சக்தி தயாரிக்கப் பயன்படும் அணுஉலைகளிலிருந்து ஏராளமான நியூட்ரினோக்கள் வெளிப்படுகின்றன. துகள் வேக வளர்த்தி (particle accelerator)யிலிருந்து வரும் அதிக சக்தி வாய்ந்த புரோட்டான் துகள்கள் மற்ற அணுக்கருவின் மீது மோதும் போது பையான்கள் (pions) கிடைக்கின்றன. அவை சிதையும் போது நியூட்ரினோக்கள் கிடைக்கின்றன.

சூரிய நியூட்ரினோ, காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ, அணுஉலை நியூட்ரினோ, வேக வளர்த்தி நியூட்ரினோ ஆகிய எல்லா நியூட்ரினோக்களும் பல பரிசோதனைகளில் ஈடுபடுத்தப் பட்டு அவற்றின் ஊசலாட்டத்தைப் பற்றி பல விஷயங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. முக்கியமாக மூன்று விதமான நியூட்ரினோக்களின் நிறை வித்தியாசங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. அவை மிகமிகச் சிறிய நிறை வித்தியாசங்களாகும்

$$m_2^2 - m_1^2 = 0.00007 \text{ eV}^2$$

$$|m_3^2 - m_2^2| = 0.002 \text{ eV}^2$$

நிறை வித்தியாசங்களை மட்டுமே ஊசலாட்டப் பரிசோதனையிலிருந்து அறியலாம். நிறையை அறிய வேறு ஒரு பரிசோதனையை நாடவேண்டும். ட்ரிஷியம் எனும் கனமான ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் பீட்டாச் சிதைவுப் பரிசோதனையிலிருந்து நியூட்ரினோவின் நிறை 2.2 eV (எலெக்டிரான் வோல்ட்)டை விடக் குறைவு என்று அறிகிறோம். ஆகவே மூன்று விதமான நியூட்ரினோக்களின் நிறைகளும் ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில், ஆனால் மூன்றும் 2.2 eVக்குக் குறைவாக அமைந்துள்ளன. அடிப்படைத் துகள்கள் யாவற்றிலும் நிறைகுறைவான எலெக்டிரானின் நிறையாகிய 0.5 MeV (மில்லியன் எலெக்டிரான் வோல்ட்)டை விட நியூட்ரினோக்களின் நிறை மில்லியன் மடங்கு சிறியது. ஆனால் இந்தச் சிறிய எண்ணுக்குள் பிரபஞ்சத்தின் சில முக்கியமான இரகசியங்கள் ஒளிந்திருக்கின்றன.

நூறு ஆண்டுகளுக்கு மேலாக நடந்து வரும் அடிப்படை இயற்பியல் ஆராய்ச்சியின் பயனாக ஸ்டாண்டர்டு மாடல் (Standard Model)\* எனும் கோட்பாடு எல்லா ஜடப்பொருட்களுக்கும் உள்ளே இயங்கும் விசைகளுக்கும் சக்திகளுக்கும் ஆதாரம் என்பது

\* ஸ்டாண்டர்டு மாடலைப் பற்றிய விரிவான கட்டுரைகளை முழுமை அறிவியல் உதயம், மலர் 5, இதழ் 7 (ஜூலை 2012), பக்(3892-3911)-இலும், முழுமை அறிவியல் உதயம், மலர் 6 இதழ் 4 (ஏப்ரல் 2013), பக்(4540-4562)-இலும் பார்க்கவும்.

நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இந்தக் கோட்பாட்டின்படி நியூட்ரினோக்களுக்கு நிறை கிடையாது. ஆகவே, நியூட்ரினோவுக்கும் நிறை உண்டு என்ற கண்டுபிடிப்பு மிக முக்கியம் வாய்ந்தது. நியூட்ரினோவின் நிறை, ஸ்டாண்டர்டு மாடலுக்கும் அப்பாலுள்ள ஆராய்ச்சிகளுக்கு வழிகாட்டும் என்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

பொதுவாக ஒவ்வொரு துகளுக்கும் ஒரு எதிர்த்துகள் உண்டு. எலெக்டிரானுக்கு எதிர்த்துகள் பாஸிட்ரான். இவற்றின் மின்னேற்றம் எதிர்-எதிராக உள்ளன; எலெக்டிரானின் மின்னேற்றம் நெகட்டிவ், பாஸிட்ரானின் மின்னேற்றம் பாஸிட்டிவ். ஆனால் நியூட்ரினோவைப் போன்று மின்னேற்றம் இல்லாத சில அடிப்படைத் துகளைப் பொறுத்தமட்டில், துகளும் எதிர்த்துகளும் இரண்டு வெவ்வேறான துகளாக இராமல், ஒரே துகளாக இருக்கலாம். நியூட்ரினோ இவ்வகைப்பட்ட துகளா என்பது நியூட்ரினோவைப் பற்றிய மிக முக்கியமான கேள்வி. இதற்கு விடை காணப் பல பரிசோதனைகள் நடத்தப்பட்டு வருகின்றன. ஆனால் விடை தெரியவில்லை.

1400 கோடி ஆண்டுகளுக்கு முன் ஏற்பட்ட பெரும் வெடிப்பில் (Big Bang) பிரபஞ்சம் தோன்றியதென்று தெரிகிறது. அப்போது துகள்களும் எதிர்த்துகள்களும் சமமான எண்ணிக்கையில் இருந்திருக்க வேண்டும். ஆனால் இப்போது எங்கும் துகள்களே உள்ளன. பிரபஞ்சத்திலுள்ள எல்லா ஜடப்பொருட்களும் புரோட்டான், நியூட்ரான், எலெக்டிரான் என்ற மூவகைத் துகள்களாலான அணுக்களாலேயே ஆனவை. எதிர்த்துகள்களான எதிர்ப்புரோட்டான், எதிர் நியூட்ரான், பாஸிட்ரான் ஆகியவை எப்படி மறைந்தன? பிரபஞ்சத்தின் தொடக்கத்தில் இருந்த துகள்-எதிர்த்துகள் சமச்சீர்மை (particle-antiparticle symmetry) எவ்வாறு அழிந்தது? பிரபஞ்ச வரலாற்றில் இது ஒரு முக்கியமான புதிர். இந்தப் புதிருக்கு விடை நியூட்ரினோவுக்குள் அடங்கியுள்ளது. நியூட்ரினோவும் எதிர் நியூட்ரினோவும் ஒரே துகள் என்பது நிரூபிக்கப்பட்டால், இந்தப் பிரபஞ்சப் புதிரை அவிழ்க்க முடியும். பிரபஞ்ச ஆராய்ச்சியில் நியூட்ரினோவின் பங்கு மிக முக்கியம்.



சூப்பர் நோவா (Supernova) எனப்படும் பெரும் நட்சத்திர வெடிப்பிலிருந்து ஏராளமான நியூட்ரினோக்கள் வெளிப்படுகின்றன. ஒரு சூப்பர் நோவாவிலிருந்து வந்த நியூட்ரினோக்கள் பூமியில் பிடிபட்டன. 1987-இல் சூப்பர்நோவா நியூட்ரினோக்கள் கோஷிபாவின் சூப்பர் காமியோகா டிடெக்டரில் பிடிபட்டன. கோஷிபாவுக்கு 2002-இல் நோபெல் பரிசு கிடைக்க இதுவும் ஒரு காரணம். ஏனெனில் இந்தப் பரிசோதனை மூலம் அண்டவெளியில் சூரிய மண்டலத்திற்கு அப்பால் வெகு தொலைவிலிருந்து வரும் நியூட்ரினோக்கள் முதன்முறையாக பூமியில் பிடிக்கப்பட்டு அவற்றின் ஆராய்ச்சி தொடங்கப்பட்டது.

அண்ட வெளியில் பல கோடிக்கணக்கான கிலோமீட்டர் தொலைவிலிருந்து வரும் மிக அதீத சக்தி (ஒரு லட்சம் கோடி எலக்டிரான் வேல்ட்டை விட அதிகமான சக்தி)யுள்ள நியூட்ரினோக்களும் இப்போது பிடிபட்டுள்ளன. பூமியின் தென் துருவத்தருகேயுள்ள அண்டார்டிகா கண்டத்தில் பனிக்கட்டியையே நியூட்ரினோ உணர்கருவியாக (detector) பயன்படுத்தி இந்த சாதனை நிகழ்த்தப்பட்டது. 1 கிலோமீட்டர் நீளமும் 1 கிலோமீட்டர் அகலமும் 1 கிலோமீட்டர் உயரமும் கொண்ட பனிக்கட்டியே இந்த டிடெக்டர். இதன் பெயர் பனிக்கனச் சதுரம் (Ice Cube).

நியூட்ரினோக்களால் எப்பொருளையும் ஊடுறுவிச் செல்ல முடியும். பத்து இலட்சம் பூமிகளை வரிசையாக வைத்தாலும், நியூட்ரினோக்கள் அவை யாவற்றையும் துளைத்துச் செல்லும். ஆகவே நியூட்ரினோக்கள் மூலம், நமது பூமிக்குள்ளே எங்கு பொருள் அடர்த்தி அதிகம், எங்கு குறைவு, எங்கு பிளவுகள் உள்ளன, எந்த இடங்களில் பூகம்பம் போன்ற பேரிடர் நேரலாம், எப்போது நேரலாம் என்ற எல்லா விபரங்களையும் அறிய முடியும். இது எதிர்காலத்தில் நடக்கக்கூடிய விஷயம். நியூட்ரினோ அறிவியலும் அதன் அடிப்படையில் உதிக்கும் தொழில்நுட்பமும் வளர்ச்சியடைந்தபின் இத்தகைய பயன்பாடுகள் சாத்தியமாகும்.

பூமிக்கடியில் யுரேனியம், தோரியம் முதலிய தாதுப்பொருட்கள் உள்ளன. அவற்றின் கதிரியக்கத்தாலும், அணுப்பிளவினாலும் நியூட்ரினோக்கள் உண்டாகின்றன. இந்த பூமி நியூட்ரினோக்கள்

(geoneutrinos) ஐப்பானிலுள்ள காம்லேண்ட் (KamLAND), இத்தாலியில் கிரான்சாலோ (Gran Sasso) ஆராய்ச்சி சாலையிலுள்ள போரெக்ஸினோ (Borexino) என்ற இரு நியூட்ரினோ டெக்டரிலும் பிடிபட்டன. இவற்றின் மூலம் யுரேனியமும் தோரியமும் பூமிக்கடியில் எந்தெந்த இடங்களில் எவ்வளவு ஆழங்களில் இருக்கின்றன என்ற விபரம் அறியப்படும். இது பூமி வரலாற்று ஆராய்ச்சிக்கு (Geochronology) ஒரு வழிகாட்டியாக விளங்கும்.

உலகெங்கும் இன்னும் பல நியூட்ரினோ பரிசோதனைச் சாலைகள் அமைக்கும் பணி தொடங்கியுள்ளது. ஏற்கனவே கூறியபடி இந்தியா நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சியில் முன்னோடியாக இருந்தது. கோலார் தங்கச் சுரங்கத்தில் 1965-இல் பிடிபட்ட காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ தான் ஐப்பானிய விஞ்ஞானிகளுக்கு இரண்டு நோபெல் பரிசுகளை அளித்தது. ஆனால் கோலார் தங்கச் சுரங்கம் 1995-இல் மூடப்பட்டு விட்டது. இழந்த வாய்ப்பை மீட்க இந்திய நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சிக்கூடம் (India-based Neutrino Observatory or INO) திட்டமிடப்பட்டிருக்கிறது. இந்த நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சிக்கூடம் மதுரையின் அருகில் தேனி மாவட்டத்திலும் அதன் பிரதான மையம் மதுரையிலும் அமையும்\*.

### நியூட்ரினோ கதையில் சில முக்கிய நிகழ்ச்சிகள்

- 1930 நியூட்ரினோவின் பிறப்பு : பவுலி (Pauli)
- 1932 பீட்டாச் சிதைவுக் கோட்பாடு, “நியூட்ரினோ” பெயர் : பெர்மி (Fermi)
- 1954 அணுஉலையில் நியூட்ரினோ கண்டுபிடிப்பு : கோவானும் ரைனஸும் (Cowan and Reines)
- 1964 இரண்டாவது நியூட்ரினோ (மியூ நியூட்ரினோ) கண்டுபிடிப்பு : லெடர்மானும் ஷ்வார்ட்ஸும் ஸ்டைன்பெர்கரும் (Lederman, Schwartz and Steinberger)

\* INO-வைப் பற்றிய கட்டுரைகளை முழுமை அறிவியல் உதயம், மலர் 2, இதழ் 10, அக்டோபர் 2009, பக் (1516-1525)-இலும், முழுமை அறிவியல் உதயம், மலர் 7, இதழ் 11, நவம்பர் 2014, பக் (5927-5936)-இலும் பார்க்கவும்.

7086 பேராசிரியர் டாக்டர் ஜி. இராஜசேகரன்

- 1965 காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரினோ ஆராய்ச்சி தொடக்கம் : கோலார் தங்க வயல்
- 1970 சூரிய நியூட்ரினோ பரிசோதனையின் தொடக்கம் : டேவிஸ் (Davis)
- 1987 சூப்பர் நோவா நியூட்ரினோ : சூப்பர் காமியோகா
- 1998 நியூட்ரினோ ஊசலாட்டமும் நிறையும் நிரூபணம் : சூப்பர் காமியோகா
- 2001 மூன்றாவது நியூட்ரினோ (டவ் நியூட்ரினோ) கண்டுபிடிப்பு : DONUT பரிசோதனை
- 2002 சூரிய நியூட்ரினோப் புதிருக்கு விடை நிரூபணம் : SNO
- 2005 பூமி நியூட்ரினோக்கள் : காம்லேண்ட் (KamLAND)
- 2013 பிரபஞ்ச நியூட்ரினோக்கள் : Ice Cube